

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ им. П.П. ШИРШОВА РАН  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Проект РНФ 14-17-00547

**РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗА РАЗВИТИЯ АККУМУЛЯТИВНЫХ БЕРЕГОВ  
БЕСПРИЛИВНЫХ МОРЕЙ РОССИИ**

Отчет 2018 г. (итоговый)

Руководитель проекта  
д-р географических наук, профессор

\_\_\_\_\_ Р.Д. Косьян  
подпись, дата

---

Геленджик, Севастополь  
2018

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>3</b>
<b>Часть 1 МОНИТОРИНГ ГЕОСИСТЕМЫ АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ</b>	<b>4</b>
1.1 Краткая характеристика геосистемы Анапской пересыпи	4
1.2 Программа, методики экспедиционных работ на Анапской пересыпи	5
1.3 Анализ динамики береговой линии Анапской пересыпи	8
1.4 Анализ динамики подводного рельефа Анапской пересыпи	9
<b>Часть 2 ИЗУЧЕНИЕ ГЕОСИСТЕМЫ БАКАЛЬСКОЙ КОСЫ</b>	<b>10</b>
2.1 Выбор Бакальской косы в качестве тестового участка	10
2.2 Изученность Бакальской косы	11
2.3 Общие сведения о геосистеме Бакальской косы	12
2.4 Исследования динамики Бакальской косы	15
2.5 Экспедиционные исследования Бакальской косы	16
2.6 Изучение подводного рельефа Бакальской косы	17
2.7 Изучение надводного рельефа Бакальской косы	19
<b>Часть 3 АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗВИТИЯ ИЗУЧЕННЫХ ГЕОСИСТЕМ</b>	<b>20</b>
3.1 Анализ гидродинамических характеристик районов Анапской пересыпи и Бакальской косы	20
3.2 Изучение совместного влияния биогенных и абиогенных факторов на развитие геосистем аккумулятивных форм	21
3.3 Изучение биогенного источника наносов	22
3.4 Изучение закономерностей пространственного распределения механического состава донных и сухопутных отложений	24
3.5 Работы по адаптации и насыщению океанологической базы данных	25
3.6 Работы по разработке Веб-сайта «Морские берега Крыма»	26
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ: ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ И БАКАЛЬСКОЙ КОСЫ</b>	<b>27</b>
<i>Анапская пересыпь</i>	27
<i>Бакальская коса</i>	29
<b>Список публикаций, подготовленных в ходе выполнения проекта</b>	
2017 год	31
2018 год	33

## ВВЕДЕНИЕ

Выполненный в 2014-2016 гг. первый этап проекта 14-17-00547 был посвящён изучению процессов формирования и эволюции береговых аккумулятивных форм неприливых морей под действием гидро-, лито- и морфодинамических факторов и реакции аккумулятивных образований на изменение внешних условий. Выбор объекта исследований был обусловлен негативными тенденциями природного и антропогенного происхождения, влияющими на современное состояние и эволюцию прибрежных зон. Актуальность исследований была обусловлена также отсутствием методики комплексного изучения береговых аккумулятивных тел в целом, включающей оценку значимости всех процессов природного и антропогенного характера, определяющих современную трансформацию морских берегов. Главной задачей проекта являлась разработка прогноза развития аккумулятивных берегов неприливых морей России на основе новой информации о ходе развития, механизмах формирования и пространственно-временной изменчивости аккумулятивных береговых систем, в зависимости от изменяющихся внешних условий. В ходе комплексного исследования, включающего использование полевых, дистанционных, аналитических методов, данных многолетнего мониторинга и математического моделирования гидро- и литодинамических процессов эта задача была решена для двух крупнейших аккумулятивных форм в пределах балтийского и черноморского побережья – Вислинской косы и Анапской пересыпи.

Использованные в ходе выполнения проекта методы показали свою эффективность. Были получены новые данные о строении и динамике изученных аккумулятивных форм. На завершающем этапе работ стало ясно, что закономерности, отмеченные для двух изученных аккумулятивных форм, могут быть общими для подобных аккумулятивных форм неприливых морей. Тем не менее, делать такой вывод лишь по двум изученным природным объектам было бы преждевременно. Очевидно, что в рамках 3-летнего проекта сложно досконально изучить несколько сложных природных объектов – геосистем крупных аккумулятивных форм. По итогам проведенных в ходе выполнения проекта исследований возникла необходимость последующих исследований для уточнения или выявления фундаментальных и прикладных аспектов развития морских берегов с использованием разработанных методик.

Наиболее логичным продолжением и развитием выполненных работ стало изучение аккумулятивной формы, расположенной в сходных физико-географических условиях (в одном море), но кардинально отличающейся одной или несколькими характеристиками. Этим требованиям соответствуют крупные аккумулятивные формы Крымского полуострова. Проведение исследований одной из этих аккумулятивных форм позволяет получить недостающую информацию об общих закономерностях и региональных различиях развития их геосистем.

Таким образом, основной задачей второго этапа проекта 14-17-00547 стало выявление сходства и различий в эволюции, современном строении и динамике уже исследованных и вновь изучаемых аккумулятивных форм. В течение 2017-2018 гг. был продолжен мониторинг геосистемы Анапской пересыпи и для выбранного тестового участка – Бакальской косы был проведен полный комплекс натурных и аналитических исследований по отработанной в ходе выполнения основного проекта методике.

Настоящий отчет отражает ход выполнения проекта в 2018 г. и содержит основные, полученные в ходе выполнения проекта результаты. Приведены также сведения по программе, организации и основных результатах экспедиционных работ.

# Часть 1

## МОНИТОРИНГ ГЕОСИСТЕМЫ АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ

### 1.1 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОСИСТЕМЫ АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ

Детальная характеристика геосистемы Анапской пересыпи, подготовленная по литературным данным и материалам новых исследований, выполненных при поддержке РФФ, была выполнена на первом этапе. В 2018 году были выполнены исследования Анапской пересыпи, позволяющие получить данные о динамике различных компонентов её геосистемы. В данном отчете приведена краткая характеристика геосистемы Анапской пересыпи, позволяющая ориентироваться в пространственных и смысловых границах выполненных в 2018 г. исследований.

Анапская пересыпь является крупнейшей песчаной аккумулятивной формой Кавказского побережья Черного моря. Береговая аккумулятивная песчаная форма имеет общую протяженность около 47 км, расположена в северо-западной части российского побережья Черного моря. Пересыпь тянется узкой (ширина от 80 м в северной части до 1.5 км в южной) полосой от южной оконечности Таманского п-ова на севере до мыса Анапский на юге (рис. 1.1). Анапская пересыпь подразделяется на пересыпи озера Соленого (длиной около 1.3 км), лиманов Бугазского или Кизилташского (14 км); Витязевского (14 км), пересыпи Анапских плавней (5 км), а также отрезки берега, где аккумулятивная терраса примыкает к отмершему клифу высотой до 20 м: Веселовская терраса к востоку от оз. Соленое (0.7 км), Благовещенский останец (5 км) и Анапская терраса (7 км). Пересыпь отделяет от Черного моря систему лиманов (лагун) и озер – оз. Соленое, лиманы Бугазский и Кизилташский, Витязевский, оз. Чембурское, Анапские плавни. Конфигурация берега и рельеф шельфа создали замкнутую литодинамическую систему, имеющую вид вогнутой дуги длиной около 55 км. Вся пересыпь, особенно её южная часть с песчаными пляжами шириной 50-200 м, активно используется в рекреационных целях. Здесь расположены около 200 крупных лечебных и оздоровительных учреждений (включая круглогодичные), сотни частных гостиниц. Главным рекреационным ресурсом являются пляжи из кварцевого песка и ракуши.

Анапская пересыпь является полигенетической аккумулятивной береговой формой (сочетающей в своем развитии черты аккумулятивного тела барьерного типа с поперечным движением наносов, и продольного типа – с вдольбереговым движением). Характерной особенностью Анапской пересыпи является наличие на ней развитых эоловых аккумулятивных форм. В строении пересыпи прослеживаются три основных зоны: пляж, зона дюн, зона бугристых песков. За ними следует либо берег лимана, либо отмерший клиф. Подводный береговой склон отмельный (уклоны 0.015-0.020), сложен песчаным материалом с примесью ракуши, характерно наличие нескольких (до 3-х) параллельных урезу валов.

Ряд природных факторов и процессов, действующих на литодинамическую систему пересыпи, способствует отступанию берега и сокращению площади пляжей. В последние десятилетия к негативному действию природных факторов на экосистемы пересыпи добавилась сильнейшая антропогенная нагрузка. Совместное негативное влияние природных и техногенных факторов приводит к разрушению экосистем пересыпи, их деградации, потере ценнейшего рекреационного ресурса. В этих условиях назрела острая необходимость оценки современного состояния всех компонентов экосистемы, изучения механизмов формирования и пространственно-временной изменчивости аккумулятивных береговых форм, прогноза развития основных процессов, определяющих динамику пересыпи.

## 1.2 ПРОГРАММА, МЕТОДИКИ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ РАБОТ НА АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ

В 2018 г. в пределах Анапской пересыпи проведен новый цикл экспедиционных работ. Программа экспедиции включала в себя сухопутные работы (маршрутные исследования, отбор проб для гранулометрического и минерального анализа, исследования эоловых процессов и др.); и морские работы (батиметрическую съемку подводного рельефа, отбор проб для гранулометрического и минерального анализа, отбор проб зообентоса и др.). Выполнен большой объем полевых работ, необходимых для уточнения и контроля полученных в предыдущие годы результатов и получения новых данных по динамике отдельных компонентов геосистемы пересыпи. Протяженность исследуемого участка составила около 47 км (от мыса Анапский на юго-востоке до оз. Солёное на северо-западе). При проведении экспедиционных работ, как и ранее, использовалась система «виртуальных» опорных профилей. Вдоль всей протяженности литодинамической системы Анапской пересыпи (от мыса Анапский на юге до мыса Железный Рог на севере) выбраны условные точки вблизи среднего положения уреза моря, расположенные в 1 км друг от друга (рис. 1.1). Через эти точки были проложены поперечные берегу профили, по которым ориентируются как сухопутные исследования, так и морские работы.

Маршрутные исследования включали в себя морфометрические, литодинамические, геоботанические и другие работы. Проведение маршрутных работ сопровождалось фотографической съемкой с фиксацией географических координат. Сравнение полученных в ходе экспедиции данных с данными прошлых лет показало, что наиболее динамичным элементом геосистемы пересыпи является прибрежная зона – подводные валы, урез, пляж. Наиболее часто отмечаются нарушения рельефа, связанные с природным воздействием – повреждение волнами переднего склона авандюны, увеличение числа активных очагов эолового разрушения дюн. Отмечаются как участки с выдвиганием, так и с отступанием берега. Вновь отмечены следы антропогенного воздействия (нарушение рельефа дюн, разрушение растительного покрова при перемещении отдыхающих или транспорта).

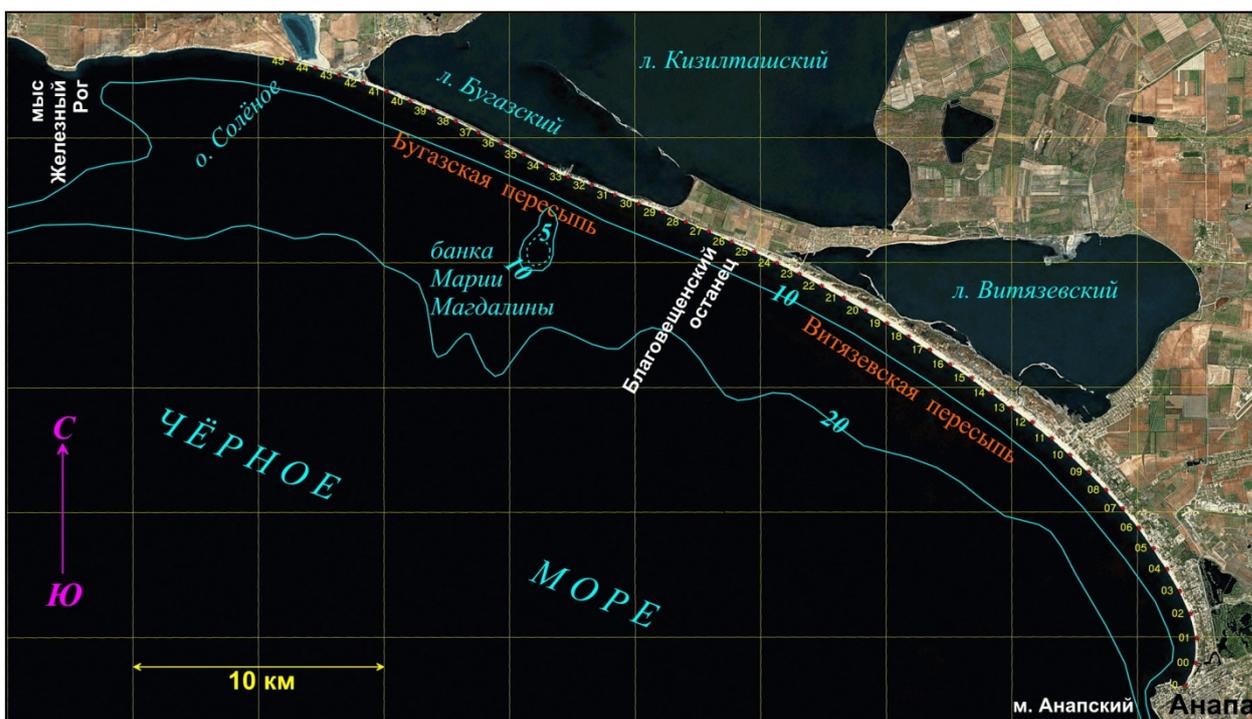


Рис. 1.1 – Схема Анапской пересыпи с опорными профилями

Целью ежегодной батиметрической съемки являлось составление актуального батиметрического плана прибрежной акватории и цифровой модели подводного рельефа, используемой при проведении математического моделирования гидро-литодинамических процессов. Кроме того, на основе батиметрической съемки определяется положение точек отбора проб донного грунта с привязкой к текущей морфологии дна. Методика проведения батиметрической съемки одинакова на всех этапах исследований, что сделано для корректного проведения исследований динамики рельефа подводного склона пересыпи. В 2018 г. батиметрическая съемка осуществлялась от устья р. Анапка до оз. Соленое. Съемка производилась галсами, проводимыми с привязкой к опорным профилям (рис. 1.2). Для уточнения и детализации подводного рельефа дополнительно производились вдольбереговые промеры. Промеры по галсам 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 производились до глубины 10 м, по остальным – 7 м. Общая протяженность галсов батиметрической съемки с учетом выхода на первоначальные точки, возврата на базу, маневрирования составила 147 км. Измерения производились с борта маломерного судна «Профессор Лонгинов», обеспечивающего необходимый для измерений малый ход (менее 1,0 м/с), оснащенного радио и навигационным оборудованием. На катере установлен промерный гидрографический комплекс "Humminbird 1198c SI Combo".



Рис. 1.2 – Батиметрическая съемка: схема промерных галсов в СЗ части полигона

В ходе экспедиции был проведен отбор проб песчаного и галечного материала с пляжей Анапской пересыпи, а также отбор проб донных отложений для определения их минерального и механического состава. Указанные работы имели целью выявление межгодовой изменчивости в распределении наносов. Отбор проб донных отложений производился на гребне подводного вала и на фиксированной глубине 7 м (за пределами подводных валов) водолазом с катера. Одновременно производился отбор живых двустворчатых моллюсков и (или) раковинного детрита с целью определения вклада раковинных моллюсков в общий объем пляжевых отложений. На нескольких разрезах были отобраны пробы бентоса с глубин 2, 6 и 10 м. Водолазы с помощью рамки размером 33x33 см собирали слой песка под рамкой толщиной около 3 см, крупных брюхоногих моллюсков (рапану) отбирали на площади 100 м<sup>2</sup>. В лаборатории пробы были просеяны через сита с ячейей 3 и 1 мм, найденные животные были посчитаны и измерены (длина раковины, от переднего аддуктора к заднему). У рапаны определялся размер (высота раковины), пол, возраст, общий вес и вес раковины.

Для сухопутной части пробы отбирались на пляже и на гребне авандюны. Отбор пробы производился с поверхности мерной емкостью. Место отбора пробы фотографировалось для облегчения дальнейшего анализа. Для оценки количества галечного материала на пляже производился подсчет на пробной площадке (1 м<sup>2</sup>), отдельно оценивалось относительное расположение галечных россыпей относительно морфологических элементов пляжа. Координаты точек отбора проб фиксировались при помощи GPS. Методика гранулометрического анализа донных и пляжевых наносов не изменилась по сравнению с первым этапом. Пробы высушивались, взвешивались и подвергались обработке методом ситового анализа. Для определения гранулометрического состава нами использовался ситовой набор СЛМ-200. По результатам гранулометрического анализа для каждой пробы были построены распределения процентного содержания наносов различной крупности по размерам, были рассчитаны средний размер наносов в пробе, среднеквадратичное рассеяние, коэффициенты асимметрии и эксцесса. Анализ результатов показал, что наблюдаются выраженные закономерности в пространственном распределении наносов по грансоставу. Во вдольбереговом направлении имеются участки с преобладанием более крупных фракций (это прослеживается в пляжевых и дюнных отложениях). Кроме того, в дюнных отложениях отмечена зависимость их состава от состава прилегающих пляжных отложений, и от высоты гребня дюны.

Проведено экспедиционное исследование растительного покрова и ландшафтно-морфологической структуры. Фиксировалось наличие, состав и состояние растительного покрова; определялись контура ландшафтно-морфологических объектов; определялось количество экземпляров взрослых растений и поросли.

В течение 2018 г. была произведена съемка ключевых участков Анапской пересыпи с помощью съемочной аппаратуры, установленной на беспилотном летательном аппарате. Целью съемки было оперативное получение данных по современному состоянию рельефа, отложений, растительного покрова и других компонентов геосистемы пересыпи. В ходе этой работы было выполнено несколько полетов на высотах 100, 150 или 200 м. Производилась как плановая, так и панорамная фотосъемка. На одном из маршрутов была произведена видеосъемка. Съемка с БПЛА была сопряжена с геодезической привязкой опорных точек. Произведена обработка полученных данных, выполнена пространственная привязка аэрофотоснимков, созданы детальные цифровые модели рельефа и ортофотопланы, использованные для проведения исследований ряда компонентов геосистем аккумулятивных форм. Оценка точности построенных по цифровым аэрофотоснимкам ЦМР позволяет использовать их для большей части морфометрических работ в пределах пляжей. К сожалению, данный метод не позволяет получать данные в зоне заплеска (там формируются ложные отражения); и при наличии густого растительного покрова (там отсутствуют точки типа «земля»).

Была продолжена работа по сбору и анализу данных дистанционного зондирования Анапской пересыпи. Были обработаны серии снимков, позволяющие выявить сезонную и межгодовую динамику различных элементов геосистемы пересыпи, а также выявить участки, подвергнувшиеся антропогенному воздействию. Методика обработки данных дистанционного зондирования совпадала с таковой на первом этапе – проведена геометрическая и оптическая коррекция снимков, получена необходимая информация.

### 1.3 АНАЛИЗ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ

В зависимости от текущей и предшествовавшей гидро-литодинамической ситуации, конфигурация морской береговой линии на одном и том же участке пересыпи изменяется от практически прямолинейной до синусоидальной. Формирование участков локального размыва или аккумуляции связано с вдольбереговым движением наносов и динамикой прибрежного подводного вала. Возникает подобная конфигурация далеко не при каждом шторме. На северной и центральной частях пересыпи длина «волны» размыва-аккумуляции составляет 350-500 м. На смежных участках размыва-аккумуляции отклонение линии уреза от «среднего» положения достигает 20-30 м. Образовавшиеся во время шторма выступы, как правило, в плане имеют несимметричную (каплевидную) форму, с более крутым изгибом берега в подветренной стороне. Как правило, выступу берега тут соответствует приращение к берегу прибрежного подводного вала, участку размыва – отдаление вала от берега. Выступы постепенно сглаживаются, происходит выравнивание береговой линии. Скорость выравнивания береговой линии зависит от гидродинамической ситуации, весь процесс занимает период от нескольких месяцев до года. В период максимального выравнивания береговой линии вся система подводных валов приобретает субпараллельное урезу положение; изгибы, разрывы валов и перемычки между соседними валами практически отсутствуют. На южном краю пересыпи так же наблюдается формирование участков размыва-аккумуляции, но здесь их контуры имеют близкую к симметричной форму, а длина «волны» редко превышает 250 м. Как и на северной части пересыпи, выступу берега обычно соответствует приращение подводного вала, но участку размыва может соответствовать не изгиб, а разрыв прибрежного подводного вала. Возможно, на этой части пересыпи большую роль в формировании конфигурации уреза играют разрывные течения.

Анализ долговременной динамики морского берега Анапской пересыпи показал, что на большей части пересыпи преобладал размыв (на отдельных участках более 70 м), но отмечалась и аккумуляция (более 20 м). Среднее по всему участку смещение линии уреза за полвека составило около 22.1 м (в сторону берега), величина максимального размыва превысила 80 м (рис. 1.3). Эти величины выходят за пределы возможных погрешностей, поэтому можно говорить об отступании морского берега Анапской пересыпи. При этом, отмечено наличие участков, значительно различающихся режимом размыва-аккумуляции. Можно выделить участки сильного размыва (северный и южный). Центральную часть пересыпи, где перемежаются участки сопоставимого по величине размыва и аккумуляции, можно назвать относительно стабильной. Среднее смещение уреза на центральном участке всего 0.2 м (в сторону берега), что находится в пределах погрешности измерений.

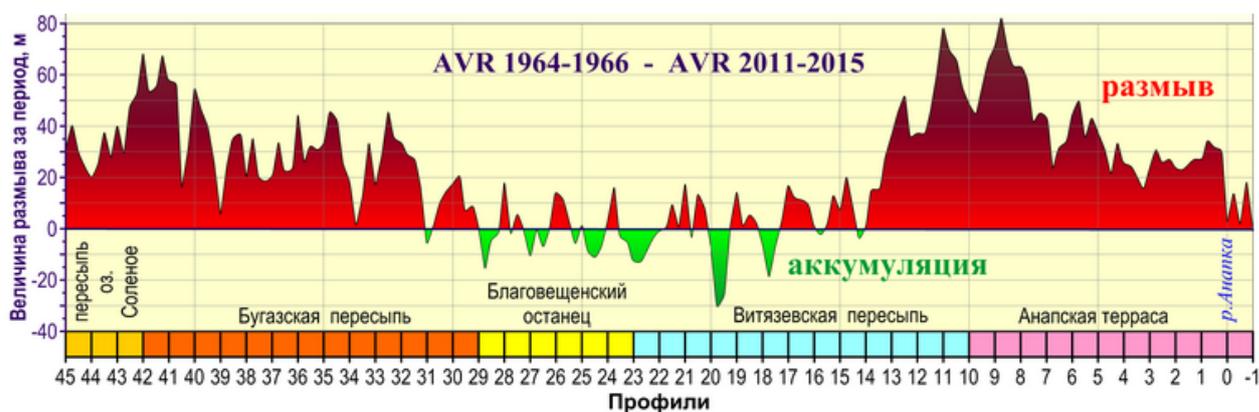


Рис. 1.3 – Многолетняя динамика морского уреза Анапской пересыпи

#### 1.4 АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПОДВОДНОГО РЕЛЬЕФА АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ

На подводном склоне Анапской пересыпи на глубинах до 6-7 м, в области шириной до 600 м от уреза формируются и перемещаются подводные вдольбереговые валы. Выделяется до трех субпараллельных валов. В плане валы чаще всего повторяют очертания береговой линии, хотя отмечались факты «кулисного» расположения валов. Валы являются своеобразной подводной аккумулятивной формой, материал которой находится в непрерывном движении, но при этом не покидает литодинамическую систему. Второй вал удален от берега на 100-130 м, этот вал относительно узкий (до 40 м) глубина над гребнем 1.5-2.2 м. Третий вал расположен в 250-350 м от берега, он более широкий (до 150 м) и плоский, глубина над гребнем 3.8-5.0 м. Второй и третий вал в высоту достигают примерно 2.0-2.5 м. Валы ярко выражены в центральной части Анапской пересыпи. Ближе к Веселовке третий подводный вал становится меньше по высоте. Ближе к Анапе выражен только один подводный вал.

По данным батиметрических съемок 2012-2018 гг. построены поперечнобереговые профили (рис. 1.4). Анализ этих профилей показал, что вдоль Анапской пересыпи имеются участки с низкой и высокой изменчивостью положения подводных валов. Наиболее часто изменения наблюдаются в положении и структуре прибрежного вала, эти изменения отмечены на всех опорных профилях. Помимо межгодовой изменчивости, для прибрежного вала отмечена и внутригодовая изменчивость (по двум съемкам лета-осени 2016 г.). Первый от берега подводный вал очень изменчив, не имеет выраженного гребня, местами прерывается или примыкает к берегу, глубина над ним менее 0.8 м. Смещение вершин второго и третьего валов вверх или вниз по профилю происходит в пределах 150 м, высота валов от года к году также изменяется и колеблется от 2.5 м до полного исчезновения вала, поэтому на одном профиле в разные годы фиксируется разное количество подводных валов. На более глубоких валах в течение 2016 г. изменений практически не произошло. В целом, изменение структуры подводных валов в 2015-2016 гг. значительно меньше, чем в 2016-2017 гг. В 2017 г. отмечено значительное изменение как поперечного профиля подводных валов, так и изменение их планового положения. Благодаря съемке с БПЛА в 2017 г. был отмечен момент причленения к берегу прибрежного подводного вала.

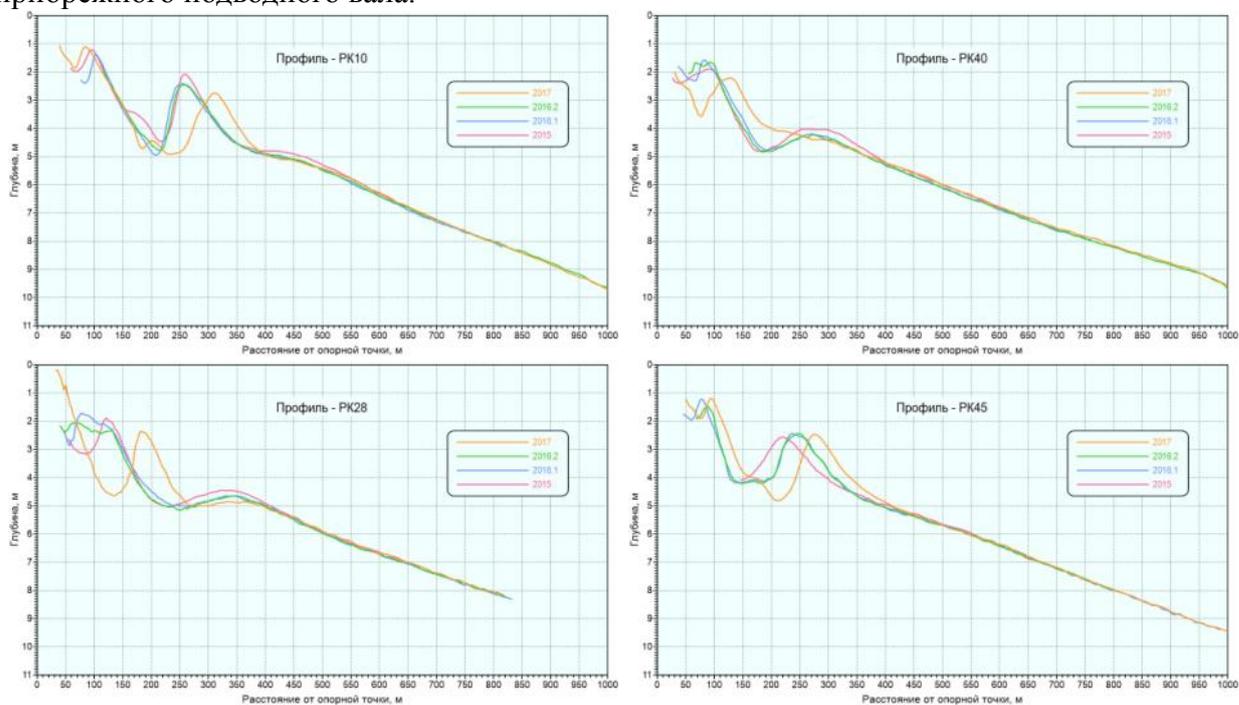


Рис. 1.4 – Динамика подводных валов Анапской пересыпи

## Часть 2 ИЗУЧЕНИЕ ГЕОСИСТЕМЫ БАКАЛЬСКОЙ КОСЫ

### 2.1 ВЫБОР БАКАЛЬСКОЙ КОСЫ В КАЧЕСТВЕ ТЕСТОВОГО УЧАСТКА

Выбор тестового участка аккумулятивных береговых геосистем непреливных морей в пределах Крымского полуострова был произведен после анализа литературных, архивных данных по гидрометеорологическому, гидродинамическому и литодинамическому режиму всех берегов Крыма. Благодаря наличию в распоряжении исполнителей проекта как фондовых материалов (из архивов МГИ РАН и ИО РАН), а также океанологической базы данных (МГИ РАН и ИО РАН), удалось выполнить обобщающую характеристику физико-географических условий для всех аккумулятивных берегов Крымского полуострова.

История изучения аккумулятивных берегов Крыма началась в конце XIX века, когда в целях проектирования русских коммерческих портов были проведены изыскательские работы на различных участках северо-западного побережья полуострова. Наиболее активное изучение и освоение берегов Крыма происходило во второй половине XX века. В последние десятилетия основной акцент в изучении берегов связан с использованием новых высокотехнологичных методов исследования. В первую очередь, это новые технологии получения и обработки данных дистанционного зондирования. Во-вторых, это новые технологии хранения, систематизации, обработки и визуализации имеющихся и вновь получаемых данных, связанные с развитием компьютерной техники.

В соответствии с современными геоморфологическими процессами, выделены следующие основные типы аккумулятивных берегов Крыма: аккумулятивные стабильные; аккумулятивные отступающие; аккумулятивные с ветровой осушкой, причлененное аккумулятивное тело (Бакальская коса), аккумулятивные острова. Общая протяженность берегов Крыма составляет 1088 км, из них аккумулятивные всех типов занимают 362 км или 33%. При этом наибольшую протяженность (примерно половину) занимают аккумулятивные стабильные – 178 км. Основной район, в котором они распространены – это Восточный Крым. Второе место по протяженности (92 км) занимают аккумулятивные с ветровой осушкой, расположенные в северо-западной части полуострова. Аккумулятивные отступающие, основной участок которых расположен в Каламитском заливе, занимают около 71 км.

Для получения актуальной информации о современном состоянии различных компонентов береговых геосистем Крыма и выбора конкретного тестового участка, обладающего необходимыми качествами, в 2017 году в пределах Крымского п-ова был проведен первый (рекогносцировочный) цикл экспедиционных работ. Исследовались преимущественно аккумулятивные берега западного и восточного побережий Крымского полуострова. Кроме того, исследованию подвергались участки абразионных берегов, являющиеся источниками наносов для аккумулятивных форм. Обработка этого материала и его научный анализ позволили получить ценные региональные данные, необходимые как для выбора тестового участка в пределах Крыма, так и для сравнения с подобными береговыми геосистемами в других регионах. Анализ важнейших природных факторов, определяющих эволюцию крупных аккумулятивных форм берегов Крымского полуострова; оценка значимости этих факторов показали, что наиболее географически и геоморфологически близкими Анапской пересыпи являются аккумулятивные формы Каламитского залива (близ г. Евпатория), Каркинитского и Феодосийского заливов. Там расположены косы, пересыпи, аккумулятивные террасы с протяженными пляжами, сложенными песком с примесью гальки и ракуши. Как и на Анапской пересыпи, отмечаются участки современного размыва.

Особняком стоит причлененное аккумулятивное тело – Бакальская коса. Коса вдается на 8 км в Каркинитский залив к западу от с. Стерегущее и является крупнейшей аккумулятивной формой северо-западного побережья Крыма. В 2010 г. отделение дистальной части косы образовало аккумулятивный остров, протяженность береговой черты которой постоянно меняется, а площадь – уменьшается. Деградация косы и превращение её дистальной части в остров в последние годы стало одной из важнейших тем научных публикаций. Причины, вызвавшие деградацию косы, связывают как с природными, так и с антропогенными факторами. Однако до сих пор отсутствует обоснованный прогноз её дальнейшей эволюции, что является одной из насущных задач науки. Перечисленные факторы послужили основанием для выбора Бакальской косы для детального изучения в ходе выполнения настоящего проекта.



Рис. 2.1 – Схема района Бакальской косы

## 2.2 ИЗУЧЕННОСТЬ БАКАЛЬСКОЙ КОСЫ

Для выбранного тестового участка – Бакальской косы – была проведена систематизация и анализ фондовых материалов по гидрометеорологическому, гидродинамическому и литодинамическому режиму, данных дистанционного зондирования. Эта работа показала, что изученность района Бакальской косы хорошая, но имеются существенные «пробелы» в данных. Для оценки характеристик ветрового режима можно использовать материалы многолетних наблюдений над ветром, которые проводились на станциях Гидрометслужбы – Черноморское (1928 – 2015 гг.) и Стерегущий (1939 – 1964 гг.). Обе береговые станции открыты ветрам всех направлений; данные наблюдений над ветром репрезентативны. Регулярные многолетние наблюдения ветрового волнения выполнялись на станции Черноморское и 10 лет на станции Стерегущий. Наблюдения выполнялись в светлое время суток в три срока. Измерения производились визуально или полуинструментальным методом. Анализ уровня моря в западной части Крыма базируется на данных ГМС Черноморское – ближайшего (45 км юго-западнее) к Бакальской косе пункта, на котором регулярно ведутся наблюдения за уровнем. Глубина в месте установки 2 м. Наблюдения проводятся с 1927 года. В 1941-1944 и 1998-2002 гг. наблюдения не проводились.

Исследования бентоса проводились, в основном, в центральной и западной, относительно глубоководной части Каркинитского залива. Информация о донной фауне восточной мелководной части залива ограничивается данными 70-летней давности, когда было проведено первое и наиболее детальное исследование, показавшее чрезвычайное разнообразие и количественное богатство макрозообентоса этого района. В 2007-2013 гг. сотрудниками ИнБЮМ были отобраны и проанализированы материалы с 86 бентосных станций на глубинах 0-35 м.

Изучение динамики аккумулятивного тела Бакальской косы на протяжении последних нескольких десятилетий ведется специалистами МГИ РАН. В целом, дистальная часть Бакальской косы в последние 40 лет XX века размывалась с западной стороны со средней линейной скоростью 6 м/год и намывалась у восточного края на 7-8 м/год. В начале XXI-го века наметилась тенденция отделения всей дистальной части от тела косы. Первоначально отделение было временным, периодически вся дистальная часть отделялась от основной косы прорвой, превращаясь в остров. Спустя некоторое время перемычка восстанавливалась, хотя постепенно становилась все более узкой. Этот процесс продолжался до октября 2010 г., после чего произошло отделение дистальной части с образованием промоины шириной до 1 км (в 2017 г.).

С использованием перечисленных фондовых материалов, имеющихся в распоряжении исполнителей, был выполнен обзор физико-географических условий района Бакальской косы. Особое место уделено анализу гидрометеорологических факторов (ветроволнового режима), литодинамических факторов, антропогенных факторов. Эта информация была дополнена новыми данными дистанционного зондирования. Кроме того, для получения собственных натурных данных, в 2017 и 2018 годах были проведены два этапа экспедиционных работ по изучению Бакальской косы, включающий широкий комплекс исследований. Основной задачей полевых и аналитических исследований Бакальской косы было выявление произошедших за последние десятилетия изменений морфологического облика аккумулятивной формы; составление качественной характеристики современного состояния её геосистемы, анализ важнейших природных процессов, определяющих её развитие. В числе прочего была проведена оценка роли антропогенного фактора в изменчивости изучаемой аккумулятивной формы. Ряд работ изначально выполнялся в виде мониторинговых исследований, позволяющих получить данные о динамике различных компонентов геосистемы.

### **2.3 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОСИСТЕМЕ БАКАЛЬСКОЙ КОСЫ**

Отмельный абразионно-аккумулятивный берег северо-западного Крыма между Бакальской косой и Лебяжьими островами в вершине Каркинитского залива (рис. 2.1) – один из самых изменчивых берегов полуострова. Бакальская коса до отделения острова морфологически представляла собой свободную двойную аккумулятивную форму длиной около 8 км. Обе ее ветви своей корневой частью примыкают к интенсивно размывающемуся клифу, сложенному толщей бурых плиоценовых и четвертичных глин. Между двумя ветвями косы заключена лагуна (Бакальское соленое озеро). К северу, на продолжении оконечности косы, почти через весь Каркинитский залив (на расстояние в 40 км) тянется узкая подводная отмель – Бакальская банка. Наименьшие глубины на ней колеблются в пределах 3-4.5 м, в то время как восточная часть залива имеет глубины до 11 м. К западу, дно постепенно и равномерно понижается до максимальных глубин залива. Прилегающая суша представляет собой полого наклоненную в сторону моря равнину с редким и неглубоким эрозионным расчленением.

Длина береговой линии Бакальской косы, включая прилегающие террасы, составляет сейчас 14.5 км (до отделения дистальной части – 18.2 км). Длина береговой линии острова Бакал – 2.9 км. С западной стороны пляжи более высокие (1.4-1.6 м) и менее широкие (15-17 м), чем с восточной (соответственно, 0.9-1.2 м и 25-40 м). Ширина западной пересыпи Бакальского озера в настоящее время достигает 120 м.

По топографическим условиям и метеорологическому режиму этой части побережья можно полагать, что причиной образования Бакальской косы является внешняя блокировка берега, происходящая вследствие сужения Каркинитского залива и уменьшения его глубин в восточном направлении.

В районе Бакальской косы и Бакальской банки преобладающими являются ветры северных и западных румбов; однако длина разгона, которая в очень большой степени определяет интенсивность воздействия на берег волн данного направления, для этих ветров неодинакова. Западные ветры возбуждают крупную длинную волну открытого моря, в то время как северные ветры, действуя на ограниченном и мелководном пространстве, дают весьма незначительную короткую волну.

Бакальскую бухту, расположенную с восточной стороны косы, окаймляет абразионный берег, сложенный легко размываемыми четвертичными суглинками. Отложения срезаны вертикальным уступом размыва, снижающимся в северо-восточном направлении от с. Аврора (рис. 2.1) до бывшего с. Сергеевка, разрушенного морем.

Корневая часть восточной ветви Бакальской косы представляет собой расширяющуюся к северо-западу надводную аккумулятивную террасу, которая со стороны материка примыкает к отмершему глинистому клифу длиной около 4 км, понижающемуся в западном направлении. На этом протяжении клиф плавно загибается к северу, меняя широтное направление на северо-западное. На протяжении 3-4 км вдоль клифа имеется несколько мелких примкнувших аккумулятивных форм плавных очертаний: террас, петлевидных баров и двояковогнутых выступов. Под их защитой клиф превращается в задернованный склон. Еще далее пляж исчезает, и на расстоянии 4-5 км глинистые обрывы непосредственно переходят в обнаженную абразионную площадку (бенч). В периоды нагонов основание клифа покрывается водой на высоту 30-40 см. Местами здесь и западнее имеются мощные скопления отмершей морской травы зостеры – *Zostera marina*. Огромное количество гниющих водорослей создают сплошной покров в прибрежной полосе на расстоянии до 50 м от берега и распространяют зловоние, в результате чего пляжи, примыкающие к восточной части косы, практически потеряли свое рекреационное значение и не используются.

Поверхность восточной ветви образована рядом береговых валов, вытянутых вблизи уреза вдоль береговой линии, а дальше от берега постепенно принимающих направление, параллельное линии отмершего клифа. Эти древние валы подходят вплотную к современному береговому валу западной ветви и срезаются им. На севере обе ветви плавно переходят друг в друга, но далее к югу угол между направлением древних береговых валов восточной ветви и береговой линией западного края косы постепенно увеличивается.

Подводный склон восточного берега косы до сужения в месте соединения западной и восточной ветвей чрезвычайно крут и сложен ракушечным материалом, практически не отличимым от залегающего на берегу. Но уже на глубине около 5-6 м дно покрыто тонким (8-15 см мощности) слоем илистого песка, на котором растет зостера. Под илистым песком залегают бурая глина, из которой сложены клиф и абразионная площадка. Илистый песок содержит ракушку, как мертвые, так и живые формы, но в небольшом количестве. К юго-востоку подводный склон делается более пологим и зона мелководья сильно расширяется. На глубинах до 3-4 м здесь на дне залегают слои крупнобитой и целой ракушки, идентичной той ракушке, которая слагает надводную часть косы.

Западная ветвь косы своим основанием непосредственно примыкает к активному клифу и вытянута почти прямолинейно на его продолжении. На протяжении первых 4 км западная ветвь образует узкую (60-100 м) пересыпь, отделяющую Бакальское озеро от моря. Клиф в точке примыкания западной ветви меняет свое направление с северо-восточного на восточное; восточнее пересыпи он снова становится активным и продолжает абрадироваться волнами лагуны. Пересыпь состоит из мощного берегового вала высотой не более 1.5 м и постепенно понижающейся к лагуне поверхности. В теле вала имеются следы промоин, переходящие в русла, которые открываются в лагуну. Эти промоины образуются в сильные штормы, когда в лагуну прорываются крупные волны

Подводный склон у западной ветви косы более отлогий, чем у восточной. Береговой вал и наносы до глубины 2-6 м состоят из ракушечного песка с большой примесью оолитов, гравия и гальки. В целом этот материал значительно более мелкозернист, чем на восточной стороне. Перед фронтом пересыпи на глубине около 2 м на дне выходит пласт серого озерного ила того же состава, что и на дне Бакальского озера.

К северу от своей наиболее суженной части коса имеет изгиб к востоку, доходит до линии восточного крутого склона банки и отклоняется еще далее. В связи с этим восточный склон оконечности косы имеет большую крутизну. Надводная часть оконечности косы (дистальной части) состоит из целой системы крючкообразных валов, изогнутых к востоку, а затем к югу, с многочисленными отростками на внутренней стороне каждого. Между отростками в некоторых местах в теле косы имеются маленькие бассейны; некоторые из них в настоящее время соединены с морем, некоторые изолированы.

На мелководье залегают относительно очень тонкие пески, каких нет нигде на теле косы, что, возможно, является результатом разделения материала косы при совместном действии волн и сопровождающих их течений. При волнах западных и юго-западных румбов наносы перемещаются вдоль западной ветви косы к ее оконечности. В этом же направлении образуется нагонное течение, под влиянием которого находятся во время своего движения тонкие частицы наносов. В то время как грубые частицы двигаются только при действии волн и огибают оконечность косы, не отрываясь от ее берега, мелкие частицы проходят некоторый путь в направлении струи течения, т. е. на северо-восток, и образуют там подводный шлейф. При действии волн северо-западных румбов обогнувший косу материал получает перемещение на юг по ее восточной стороне. Преобладающие по массе крупные обломки перемещаются вдоль берега и, сваливаясь частично на глубину, формируют здесь крутой подводный склон. На этом склоне мелкие частицы не находят условий, необходимых для равновесия, и не могут передвигаться по дну у подножия склона, так как волновые движения воды здесь слишком слабы. Поэтому мелкие частицы формируют у оконечности косы собственные накопления с более отлогим подводным склоном. Масса мелкозернистого наноса может продвигаться к югу лишь по мере того, как вырастает это новое накопление, для чего необходимо заполнить большой объем, представляющий собой разность между сечениями профилей подводных склонов крупного и мелкого материала, последний в своем движении отстает.

Необходимо отметить, что на фоне тектонических процессов, которые влияют на развитие побережья (например, опускание или поднятие берегов) существуют и ряд экзогенных факторов, не менее значимых для его формирования. Регулятором их действия являются изменения глобального климата и связанные с ним явления эвстатических колебаний уровня океана и морей. Именно они представляются главной причиной изменений морских берегов в историческое время. Так, в результате смены трансгрессивных и регрессивных фаз моря, в береговой зоне сформировалась серия морфогенераций, которая наиболее четко зафиксировалась на аккумулятивных участках побережья, где возникло до пяти аккумулятивных генераций.

## 2.4 ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ БАКАЛЬСКОЙ КОСЫ

Бакальская коса расположена в районе с активной динамикой побережья. Поперечный профиль Бакальской банки показывает, что она представляет собой аккумулятивную форму, образованную в результате поперечного перемещения наносов по дну Каркинитского залива с запада на восток. Анализ издававшихся с 1787 года по 1989 г. карт показывает, что западная ветвь Бакальской косы смещалась к востоку. Это подтверждается и геоморфологическими данными, в частности находками озерного ила на урезе западной части косы. Восточнее косы вплоть до пос. Аврора имеются признаки нарастания берега. Анализ космических снимков показал, что в период с 1984 по 1997 гг. происходили небольшие смещения положения береговой линии Бакальской косы.

Первое отделение острова от основного тела косы, зафиксированное на спутниковом снимке *Landsat 4-5*, произошло в декабре 1997 г., ширина промоины составила 760 м. Остров площадью 0.43 км<sup>2</sup> просуществовал до мая 1998 г., после чего перешеек восстановился, но имел нестабильную S-образную форму. В мае 1999 г. образовался новый проран шириной до 170 м, он просуществовал два месяца. 6 марта 2000 г. снова зафиксировано отделение острова промоиной шириной 150 м, существовавшей более полугода. В продолжении последующих двух лет конфигурация и положение дистальной оконечности косы оставались относительно стабильными. С 2003 г. эволюция дистальной оконечности Бакальской косы характеризовалась истончением ширины перешейка и изменением конфигурации оконечности косы. В период между 10 и 17 мая 2009 г. в центральной части перешейка образовался проран шириной до 110 м, просуществовавший около двух месяцев. Следующий размыв перешейка произошел зимой 2009-2010 гг. На этот раз промоина имела ширину около 840 м. Летом 2010 г. наблюдалось восстановление перешейка, ширина его составляла всего 10-12 м, а сам он принял резко выраженную S-образную форму. В сентябре-октябре 2010 г. произошло окончательное отделение дистальной части и превращение её в остров. Ширина образовавшегося пролива быстро нарастала и 22.04.2011 г. составила 850 м. Эхолотный промер в сентябре 2011 г. показал, что глубина промоины достигала 3 м. В последние годы ширина пролива варьирует в пределах 900-1000 м. Эхолотный промер, проведенный нами в июне 2018 гг., показал, что глубина пролива составляет 3-6 м. По данным нашей аэрофотосъемки ширина промоины составляет около 1 км, площадь острова 0.31 км<sup>2</sup>. Однако, длина и конфигурация новой оконечности косы быстро меняется. Так, уже в июле 2018 г. она увеличилась на 150 м.

За 8 лет площадь острова сократилась более чем на 0.2 км<sup>2</sup>, или на 36% от начальной площади. Наиболее активная деградация площади острова произошла в 2011 и 2017 гг., когда ежегодное сокращение площади составляло около 0.06 км<sup>2</sup>. Сокращение площади острова происходит за счет размыва его западной части. Одновременно сам остров смещается к северо-востоку.

В корневой части западной ветви Бакальской косы у примыкания косы к активному глинистому клифу наблюдается отступление берега. Между 2003 и 2016 гг. берег отступил на 75 м, средняя скорость размыва составила 5.6 м/год, что является исключительно большой величиной. Скорость размыва уменьшается по мере продвижения к юго-западу от косы. В целом, потеря площади на протяжении около 700 м за 13 лет (2003-2016 гг.) составила около 26 000 м<sup>2</sup>, среднее отступление – 37 м (2.8 м/год). Юго-западнее косы на глинистом клифе скорость отступления значительно меньше – около 0,7 м/год.

К востоку от корневой части восточной ветви за последние 10 лет выявлено нарастание берега. С 2007 г. на берегу Бакальской бухты резко возросло количество отмерших водорослей. Эти водоросли, смешанные с наносами, образовали субстрат для галофитной растительности. На участках берега, где очистка пляжа от водорослей перестала проводиться, за последнее десятилетие берега выдвинулся более чем на 20 м.

## 2.5 ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БАКАЛЬСКОЙ КОСЫ

В ходе выполнения проекта были проведены два этапа экспедиционных работ на Бакальской косе, включающие как сбор новых данных, так и мониторинговые наблюдения (выявление межгодовой динамики различных параметров компонентов геосистемы). Выполнен большой объем полевых работ, необходимых для уточнения и контроля полученных в предыдущие годы результатов и получения новых данных. На Бакальской косе исследования полностью покрывали площадь аккумулятивной формы, также были обследованы прилегающие участки коренных берегов. Программа экспедиций включала в себя сухопутные работы (маршрутные исследования, отбор проб для гранулометрического и минерального анализа, исследования эоловых процессов и др.); и морские работы (батиметрическую съемку подводного рельефа, отбор проб для гранулометрического и минерального анализа, отбор проб зообентоса и др.).

При проведении экспедиционных работ на наиболее крупных аккумулятивных формах, как и ранее на Анапской пересыпи, использовалась система «виртуальных» опорных профилей. Вдоль всей протяженности аккумулятивного (рис. 2.2) тела были выбраны условные точки вблизи среднего положения уреза моря, расположенные на фиксированном расстоянии друг от друга. По этим точкам были ориентированы как сухопутные исследования, так и морские работы. Определение на местности положения опорных точек осуществлялось с помощью спутниковых систем позиционирования.



Рис. 2.2 – Система виртуальных опорных точек для Бакальской косы

В пределах исследуемых участков берегов производилось маршрутное обследование, включающее в себя элементы морфометрических, литодинамических, геоботанических и других работ. Основной целью маршрутного обследования было выявление признаков протекания тех или иных природных процессов, определение современного состава и состояния пляжевых наносов, наличия и насыщенности потоков наносов и т.п. Проведение маршрутных работ сопровождалось фотографической съемкой с фиксацией географических координат. Был произведен отбор проб для исследования механического и вещественного состава. Отмечались нарушения рельефа, связанные с природным и антропогенным воздействием. Определялся уровень и характер хозяйственного использования исследованных участков.

Целью батиметрической съемки являлось составление актуального батиметрического плана прибрежной акватории и цифровой модели подводного рельефа, используемой при проведении математического моделирования гидро-литодинамических процессов; и изучение процессов динамики подводных аккумулятивных форм. Кроме того, на основе батиметрической съемки определялось положение точек отбора проб с привязкой к текущей морфологии дна.

Отдельным видом работ стали дистанционные исследования с помощью беспилотного летательного аппарата, оснащенного современной съемочной и навигационной аппаратурой. Получены детальные фотоснимки обследованных участков с точной географической привязкой, позволяющие после соответствующей обработки составить ортофотопланы и цифровые модели рельефа, используемые для морфометрических и иных исследований.

## 2.6 ИЗУЧЕНИЕ ПОДВОДНОГО РЕЛЬЕФА БАКАЛЬСКОЙ КОСЫ

Для батиметрической съемки подводного склона Бакальской косы использовался промерный комплекс, установленный на мотолодку «Кайман 300», что обеспечивало необходимую мобильность исследований. Измерения производились с помощью малогабаритного промерного комплекса, включающего эхолот «Humminbird 898cx SI Combo» и двухлучевой сонар «DualBeam PLUS™». Прибор обеспечивает измерение глубин в диапазоне 1,0-450 м. Устройство оснащено модулем GPS «AS-GR50» с точностью позиционирования  $\pm 2.5$  м. Всего во время наблюдений было получено и обработано более 630000 точек с измеренными глубинами. Одновременно с цифровыми данными о глубине и положении также записывалась эхограмма с гидролокатора бокового обзора, что при камеральной обработке позволило увеличить информативность полученных материалов. По результатам измерений для подводного склона Анапской пересыпи было построено семь ЦМР (по одной для каждого года). В качестве исходных данных были использованы батиметрические съемки 2012-2018 гг. Все данные промеров были приведены к среднемноголетнему уровню моря и в прямоугольную систему координат.

Основные промерные галсы ориентировались по нормали к береговой линии, межгалсовые расстояния составляли 300 м (рис. 2.3). В районе прорана, разъединяющего косу и остров, промеры проводились более часто – через 150 м. Удаленность от береговой линии (длина галса) была в пределах от 1100 м (р-н Бакальского озера) до 1400 м. После получения представления об основных особенностях рельефа дна производились дополнительные промеры по галсам вдоль береговой линии. Это позволило получить более детализированную картину в местах, наиболее интересных для изучения. К таким местам относится район Бакальского озера, район между северной оконечностью косы и отделившимся островом, а также ближайшая акватория вокруг самого острова.

Главной особенностью подводного рельефа (рис. 2.4) вблизи Бакальской косы является кардинальное различие строения западного и восточного подводного склона. Западная сторона характеризуется более пологим склоном, на расстоянии 1500 м от берега глубины не превышают 8 м. Основной морфоструктурой этой части является отмель, которая маркирует начало Бакальской банки, простирающейся почти на 40 км к северу. На границе промеров ее ширина составляет около 600 м, глубина – 3.4-3.5 м. Далее в направлении на север рельеф дна остается мелководным. Восточный подводный склон характеризуется резким свалом вблизи береговой линии, на глубине 6 м он выполаживается, с изобаты 7 м рельеф дна меняется на более спокойный. Наиболее сложный рельеф морского дна вблизи дистальной части косы и острова, в результате процессов размыва, переноса и новой аккумуляции песчано-ракушечного материала происходят изменения рельефа. На СВ, В, ЮВ участках острова наблюдается резкий свал глубин буквально у самого уреза. Тут происходит разгрузка потока наносов, поступающих

с размываемой западной стороны острова. На западной стороне острова везде уклоны дна значительно меньше, отмечаются валообразные повышения, фиксирующие предшествующие положения аккумулятивного тела. Подобные валы прослеживаются вдоль всей западной стороны косы. На юге выделяются два подводных вала, идущих субпараллельно береговой линии. Прибрежный вал местами практически не выделяется в рельефе, либо причленяется к берегу. Более глубоководный вал также имеет слабо выраженные формы, высота в основном составляет 0.2-0.4 м, на некоторых участках следы вала отсутствуют. Севернее конфигурация валов становится более выраженной. Высота прибрежного достигает величин 0.8-0.9 м и вновь севернее уменьшается до 0.3-0.4 м, а глубина залегания его вершины увеличивается с 1.0-1.1 м до 1.5-1.6 м. Ширина подошвы вала колеблется от 60 до 100 м. Глубоководный вал имеет большую ширину, варьируется в широких пределах от 80-90 м до 120-130 м, максимально до 160 м. Высота вала меняется от 1.3-1.4 м до 0.6-0.8 м, глубина залегания вершины – от 2.4-2.6 м до 0.6-0.8 м.

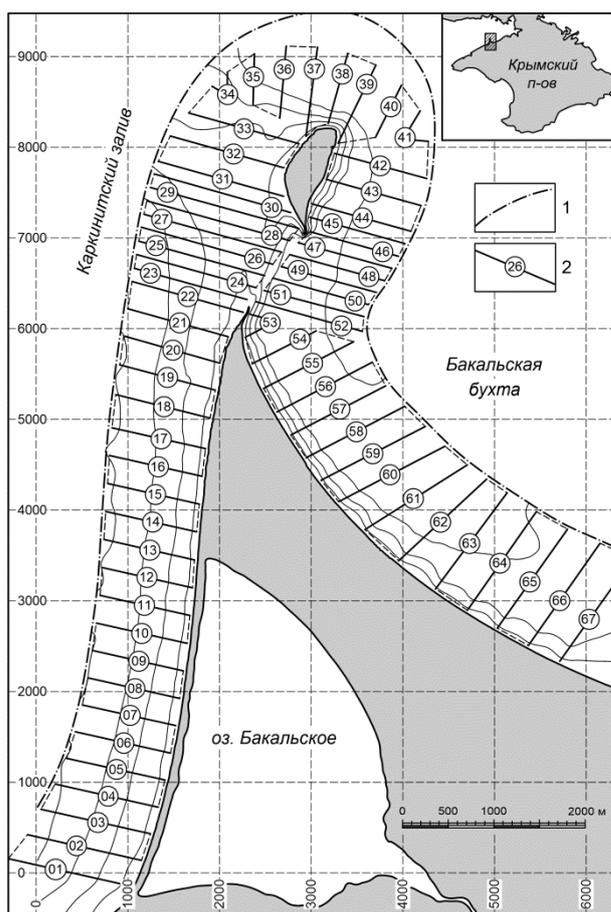


Рис. 2.3 – Основные промерные галсы прибрежной зоны Бакальской косы.  
1 – условная граница акватории промеров; 2 – промерные галсы и их номера. На верхней правой врезке – положение полигона.

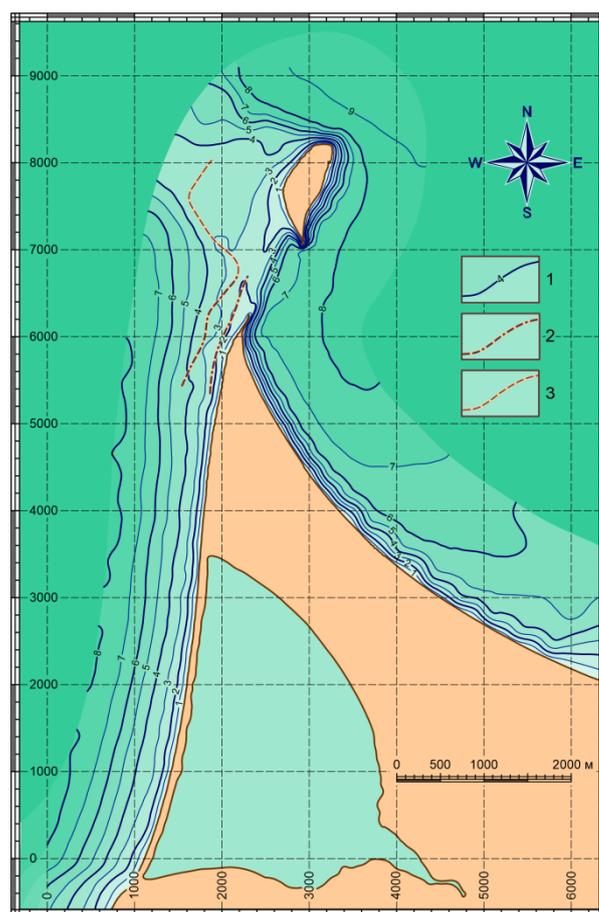
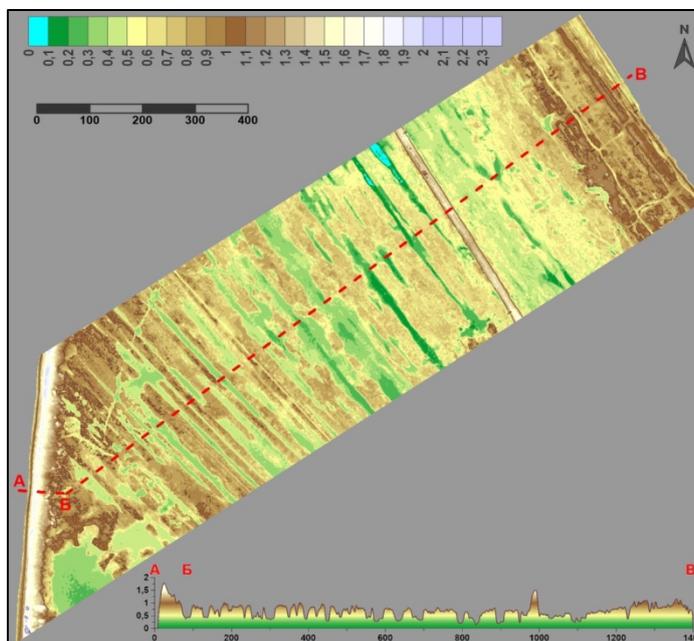


Рис. 2.4 – Схема рельефа дна прибрежной зоны Бакальской косы.  
1 – изобаты; 2 – положение отчетливо выраженных гребней валов; 3 – положение слабо выраженных гребней валов

## 2.7 ИЗУЧЕНИЕ НАДВОДНОГО РЕЛЬЕФА БАКАЛЬСКОЙ КОСЫ

В 2018 г. была выполнена съемка всей сухопутной части Бакальской косы с последующей фотограмметрической обработкой полученных цифровых снимков, с целью составления высокочетких ортофотопланов и построения цифровых моделей рельефа (ЦМР). Общая площадь, покрытая съемкой, составила 7 км<sup>2</sup>. Перед началом аэрофотосъемки для пространственной привязки было произведено размещение 65 наземных реперов, равномерно распределенных по всей площади косы. Определение точных координат наземных реперов производилось с помощью оборудования спутниковой системы позиционирования фирмы Leica Geosystems, обрабатывающего сигналы навигационных спутников GPS и ГЛОНАСС. Для обеспечения сплошной съемки с требуемым для фотограмметрической обработки перекрытием были выполнены 16 полетов общей протяженностью 85.5 км. В результате аэрофотосъемки были получены 3098 снимков, распределенных по маршрутам съемки с 30% поперечным и 60% продольным перекрытием. Для обработки аэрофотоснимков использовалось программное обеспечение Agisoft PhotoScan, позволяющее создавать высококачественные 3D модели объектов на основе цифровых фотографий методами цифровой фотограмметрии (ЦФ). Подобная технология ранее была применена для изучения рельефа Анапской пересыпи. С помощью PhotoScan произведено построение плотного облака точек фотограмметрической обработки. На базе облака точек была построена полигональная модель поверхности, использованная для создания текстурированной модели и ортофотоплана. На основе цифровых фотографий и модели поверхности произведено построение единого обзорного ортофотоплана на всю сухопутную часть Бакальской косы с пространственным разрешением 0.1 м. Для ключевых участков (остров и пересыпь Бакальского озера) построены ортофотопланы с разрешением 0.05 м. Классификация полученного плотного поля ТФО с целью выделения класса точек «земля» производилась при помощи программного пакета TerraScan (TerraSolid, Финляндия) на платформе MicroStation V8 (Bentley Systems, США). Точки, классифицированные как «земля», были сохранены в виде отдельных файлов для построения моделей GRID и дальнейшего анализа в программах SAGA и Golden Software Surfer. Созданные при их помощи модели рельефа (Рис. 2.5) были использованы при анализе современного рельефа и процессов рельефообразования.

Рис. 2.5 – Фрагмент ЦМР и поперечный разрез Бакальской косы



### Часть 3

## АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗВИТИЯ ИЗУЧЕННЫХ ГЕОСИСТЕМ

### 3.1 Анализ гидродинамических характеристик районов Анапской пересыпи и Бакальской косы

В 2017 и начале 2018 гг. была проведена адаптация математических моделей для условий нового участка, выполнены предварительные расчеты гидродинамических характеристик прилегающего района Черного моря. Поскольку ветроволновой режим является важнейшим природным фактором, определяющим эволюцию береговых аккумулятивных тел, получение параметров является необходимым элементом для разработки прогноза дальнейшего развития аккумулятивных берегов Крыма. К сожалению, сеть гидрометеопостов на побережье Крыма не позволяет получить данные с необходимыми пространственными и временными характеристиками. Кроме того, данных только о направлении и высоте волны недостаточно для расчетов литодинамических процессов. Основная цель расчетно-аналитических работ этапа 2017 г. – разработка методики выделения из смешанного поверхностного волнения компонент ветрового волнения и зыби, а также предварительная оценка климатических особенностей распределения ветровых волн и зыби в прибрежной зоне Крыма. Метод исследований – математическое моделирование. На этапе 2017 г. была проведена настройка спектральной волновой модели DHI MIKE 21 SW для автоматического разделения компонент поверхностного волнения. В результате проведенной работы:

- выполнен анализ климатической изменчивости основных параметров ветрового волнения за период с 1979 по 2017 гг.;
- оценена изменчивость характеристик морских течений в рамках годового хода;
- проанализированы данные натурного эксперимента по исследованию течений в районе Бакальской косы.

Получен массив данных, состоящий из полей рассчитанных параметров ветрового волнения Черного и Азовского морей с временным шагом 1 час. Массив расчетных характеристик включает в себя:

- пространственные распределения значительных и максимальных высот волн, средних периодов, периодов максимума спектра, направления волнения;
- частотные и частотно-направленные спектры ветрового волнения;
- мощность ветрового волнения.

В районе **Анапской пересыпи** среднегодовая мощность ветрового волнения составляет 4-5 кВт/м и испытывает довольно значительную межгодовую изменчивость. Наиболее штормовыми были 1981, 1998, 1993, 2001, 2007 и 2015 гг.; наименее – 1982, 1984, 1994, 1996 и 2009 гг. В повторяемости штормового волнения выделяются два направления: юго-западное и северо-восточное, отмечаются межгодовые колебания. Наиболее волноопасными для Анапской пересыпи являются шторма ЮЗ и ЗЮЗ направлений. Гидродинамический режим формирует два типа потоков наносов:

вдольбереговые, ответственные за эрозию или аккумуляцию наносов в прибрежной зоне, а также трансформацию линии берегового уреза;

поперечные, способствующие перераспределению песчаных отложений по нормали к берегу и выносу пляжеобразующего материала в открытую часть моря.

Расчитаны интегральные годовые оценки потоков песчаных наносов в прибрежной зоне Анапской пересыпи. Практически по всей протяженности пересыпи наблюдается преобладание потока наносов с СЗ на ЮВ. Исключением является южная часть пересыпи, примыкающая к Анапе, для которой характерно превалирование потока с ЮВ на СЗ. Смена знака генерального переноса наблюдается южнее п. Витязево. Характерные объемы материала, перемещающиеся вдоль берега: с СЗ на ЮВ – 40000 м<sup>3</sup>/год, с ЮВ на СЗ –

15000 м<sup>3</sup>/год. Наблюдается сильная межгодовая изменчивость потоков. Наиболее сильные вдольбереговые движения наносов с суммарными объемами в 75000-85000 м<sup>3</sup>/год наблюдались в 1981, 1988, 2001 и 2007 годах, наиболее слабые – в 1982, 1984, 1991, 1994 и 1996 годах (объемы – порядка 30000 м<sup>3</sup>/год). В указанные годы отмечена, соответственно, максимальная и минимальная штормовая активность. Наиболее мощные вдольбереговые потоки формировались в случаях, когда вклад экстремального волнения в общую энергетику процесса превышал 15%. Это позволяет оценить роль экстремального волнения как определяющую в общей динамике донных осадков.

С помощью математического моделирования выявлены характерные особенности изменчивости параметров ветрового волнения в районе **Бакальской косы** на климатическом отрезке времени (1979-2017 гг.), а также оценены внутригодовые вариации скоростей течений. Наиболее характерными особенностями климатической изменчивости ветрового волнения за период с 1979 по 2017 гг. в районе Бакальской косы являются: уменьшение повторяемости штормов ЗЮЗ направлений; весьма существенное уменьшение средних высот волн при штормах ССЗ и ЮЮЗ направлений; некоторое увеличение высот волн при волнении ЗСЗ и ССВ румбов. Для западной части косы в среднем за год штормовое волнение (превышающее по мощности 5 кВ/м) продолжается около 14 суток, для восточной (>2 кВ/м) – 9 суток. Бакальская коса подвержена весьма активному гидродинамическому воздействию. Наибольшей повторяемостью (до 15% в рамках годового цикла) обладают течения, направленные со стороны открытого моря в Каркинитский залив. Обратный поток (с СВ на ЮЗ) наблюдался в 10% случаев (данные за 2016 г.). Максимальные значения скоростей течений возможны, в основном, в зимний период и могут достигать 0.7 м/с.

### **3.2 ИЗУЧЕНИЕ СОВМЕСТНОГО ВЛИЯНИЯ БИОГЕННЫХ И АБИОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА РАЗВИТИЕ ГЕОСИСТЕМ АККУМУЛЯТИВНЫХ ФОРМ**

В 2017 г. была проведена работа по определению возможностей восстановления растительного покрова (на примере кустарника тамарикса) в природных условиях и после антропогенного нарушения. Большинство видов рода Тамариксов (*Tamarix*) хорошо приспособлены к произрастанию в сложных природных условиях, в том числе морского побережья. Эта способность позволяет данному роду быть пионерным в ходе природных или техногенных сукцессий. В районе исследований распространен Тамарикс или Гребенщик ветвистый (*Tamarix ramosissima* Ledeb. 1829). Исследования показали, что на распространение тамариксов оказывают влияние два основных фактора: близость относительно пресной воды и степень зарастания территории. В настоящее время тамарикс играет важную роль в увеличении устойчивости дюн Бугазской пересыпи к эоловому разрушению.

В 2018 году на Бакальской косе был исследован процесс взаимного влияния биологических и литодинамических процессов. На отделившемся в 2010 г. от оконечности Бакальской косы острове к настоящему времени сформировались обширные колонии гнездящихся птиц, недоступные для наземных хищников. Нами с использованием современных методов была определена численность некоторых видов птиц и получены данные о пространственном распределении их гнездовых площадок в пределах острова Бакальской косы. Одновременно, гидрохимические и гидробиологические исследования, проведенные в ходе выполнения проекта показали, что колонии птиц оказывают существенное влияние на продуктивность популяций двустворчатых моллюсков, обитающих на прилегающем к острову подводном склоне. В свою очередь, являясь одним из важных источников пляжеобразующего материала, двустворчатые моллюски оказывают влияние на общий литодинамический бюджет аккумулятивной формы. С использованием

данных по динамике косы и острова за последние полвека было оценено вероятное изменение площадей, подходящих для гнездования, под действием протекающих литодинамических процессов, и влияние этих изменений на популяции птиц.

### 3.3 ИЗУЧЕНИЕ БИОГЕННОГО ИСТОЧНИКА НАНОСОВ

В рамках комплексных исследований Бакальской косы в 2017-2018 гг. нами было изучено распределение карбонатной составляющей в ее осадках, и дана предварительная оценка качественного и количественного состава прибрежных двустворчатых моллюсков, раковины которых являются ее основным источником. Несмотря на значительное содержание ракуши в отложениях Бакальской косы, вклад живых раковинных моллюсков в продукцию биогенных осадков ранее не определялся. Вообще, моллюски Бакальской косы прежде не являлись предметом специальных исследований. При изучении раковинных моллюсков и их влиянию на бюджет пляжеобразующих наносов Бакальской косы мы ориентировались на опубликованные данные о бентосе окружающего ее Каркинитского залива, и данные собственных натурных исследований. В 2017 были выполнены рекогносцировочные исследования бентоса Бакальской косы, и сделан один разрез со станциями на 2 и 4 м, с каждой станции взяли по одной пробе. В 2018 г. пробы бентоса отбирали на семи разрезах, расположенных вдоль побережья косы и вокруг отделившегося от нее острова на расстоянии приблизительно 3 км друг от друга. На каждом разрезе делали по две станции на глубинах 2 и 6 м (на разрезе 4 – на 2 и 5 м). Пробы в двух повторностях отбирались водолазом с помощью рамки размером 33x33 см. Собирали слой песка под рамкой толщиной около 3 см, затем просеивали сквозь сито с ячейей 1 мм и отбирали моллюсков. В настоящем исследовании учитывали только те виды, биомасса которых превышала 1 г/м<sup>2</sup>. Эти данные использованы для оценки численности и биомассы раковин живых моллюсков. Отобранных двустворок считали, измеряли длину раковины от переднего аддуктора к заднему, очищали от мягких тканей, обсушивали на воздухе и взвешивали раковины с точностью до 0.1 г. Определяли биомассу раковин, а не моллюсков целиком, потому, что для целей работы необходимо было оценить объем поступающих в осадки карбонатов биогенного происхождения, т.е. массу раковин. У наиболее массового вида бентосных моллюсков – *Chamelea gallina* (Linnaeus, 1758) (хамелеи) – оценивались размерная и возрастная структура популяции. Возраст определялся по наружным годовым линиям роста; этот метод считается приемлемым для быстрой оценки возраста двустворок.

Содержание карбонатов в осадках определяли следующим образом: образец грунта высушивали на воздухе, взвешивали, заливали 30% соляной кислотой и оставляли до завершения реакции. После этого отмывали кислоту, высушивали оставшийся осадок на воздухе и взвешивали. Разница в весе считалась равной весу карбонатов в исходном образце.

Помимо этого, были оценены концентрации основных биогенов в морской воде как фактор, потенциально оказывающий влияние на распределение и продукцию донных организмов. Пробы морской воды для определения солености и содержания в ней основных биогенных элементов (кремния, азота, фосфора) отбирали на 1 (2 и 6 м), 3 (2 и 6 м), 4 (5 м), 6 (2 м) и 7 (2 и 6 м) разрезах. Пробы для химического анализа отбирали в приповерхностном слое. Анализ выполняли в лаборатории отдела биогеохимии моря Морского гидрофизического института РАН.

*Макрзообентос.* Анализ численности и биомассы моллюсков, отобранных вдоль побережья Бакальской косы на глубинах 2 и 6 м, показывает, что повсеместно встречается только один вид – *Chamelea gallina*. Его максимальная численность и масса раковин отмечена на разрезе 4 и глубине 5 м (2650 экз./м<sup>2</sup> и 636.8 г/м<sup>2</sup> соответственно), высокие показатели зафиксированы также на разрезах 6 (6 м) (370 экз./м<sup>2</sup> и 169.4 г/м<sup>2</sup>) и 3 (2 м) (165

экз./м<sup>2</sup> и 75.8 г/м<sup>2</sup>). Следующий по распространенности вид – *Polititapes aureus*, обнаруженный на 4 станциях и достигающий 25 экз./м<sup>2</sup> и 31 г/м<sup>2</sup>. *Mytilaster lineatus* и *Donax trunculus* встречались только на двух станциях, остальные три вида – *Barnea candida*, *Gastrana fragilis* и *Irus irus* – отмечены единично.

Возрастная структура *Chamelea gallina* одинакова в выборках 2018 и 2017 гг.: преобладают особи 2-летнего возраста. Размерная структура обнаруживает различия: в западной части косы средняя длина раковины составляла 10.6 ±1.5 мм, в восточной – 12.2±3.4 мм и 13.6 ±3.6 мм. Вдоль западного берега от корня косы к ее дистальному концу биомасса увеличивается, а при движении в обратном направлении по восточному берегу, снова уменьшается. Остров является местом гнездований птиц, птичий помет увеличивает приходную часть баланса биогенных элементов, способствующих развитию фито- и зоопланктона и, как следствие, продукции биомассы двустворчатых моллюсков (*C. gallina*), в несколько раз превышающей таковую в других местах отбора проб.

*Доля карбонатов* в донном грунте, как и биомасса раковин моллюсков, имеет явную тенденцию к увеличению с запада на восток, но если биомасса при движении от острова к восточному корню косы уменьшается, то доля карбонатов, наоборот, продолжает увеличиваться. Вероятно, это связано с возможной миграцией наносов с ЮЗ вдоль западной стороны косы вплоть до ее оконечности. Когда сохранялась перемычка с островом, наносы двигались далее на север, после ее исчезновения они начали огибать оконечность косы и перемещаться на восточную сторону, где происходит их вдольбереговая миграция на ЮВ, в центральную часть Бакальской бухты.

*Концентрация биогенов.* Содержание кремния в бакальских водах превышало таковое в водах Анапской пересыпи в 2-6 раз. При этом концентрация азота и фосфора в водах Бакальской косы была приблизительно равна концентрации этих элементов в Анапе. Интересно отметить, что значения солёности в прибрежье Бакальской косы (18.4-20.2‰) были близки солёности в прибрежье Анапы и выше, чем в предыдущие годы: в апреле 2007 г. значения солёности в море составляли 16.73‰, в августе – 17.21‰. Возможно, повышение солёности связано с прекращением работы Северо-Крымского канала.

Видовое разнообразие двустворчатых моллюсков Анапской пересыпи ниже, чем Бакальской косы, так же, как и максимальная биомасса основного их поставщика – хамелеи (в 1.5 раза). В возрастной структуре анапских хамелий преобладали однолетние особи, при этом наибольшую биомассу давали двулетние; большинство бакальских венерок были двулетними. Средние размеры раковин *C.gallina* с разных разрезов отличаются как в пределах Бакальской косы, так и в пределах Анапской пересыпи. Средние размеры двулетних анапских хамелий в целом несколько меньше средних размеров бакальских, это может быть обусловлено влиянием хищника рапаны, питающейся на Анапской пересыпи почти исключительно ими. На Бакальской косе, несмотря на наличие старых рапаньих раковин, живые особи в ходе наших исследований не обнаружены, хотя в других частях Каркинитского залива рапана отмечена. Бóльшую продолжительность жизни *C.gallina* Анапской пересыпи (8 лет, на Бакальской косе лишь единицы достигали 4-5 лет) также можно связать с замедленным ростом.

По нашим данным, средняя суммарная масса раковин в поясе массового развития моллюсков (2-10 м) Анапской пересыпи составляла в 2016 г. 232.9, в 2017 – 172.9 и в 2018 – 210.6 г/м<sup>2</sup>, т.е. в среднем – 205.5 г/м<sup>2</sup>. В прибрежье дистальной части Бакальской косы и отделившегося острова (разрезы 3-6 и 17'), где обнаружены самые высокие значения биомассы раковин, их среднее значение было лишь немногим меньше: 175.7 г/м<sup>2</sup>.

### 3.4 ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ И СУХОПУТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

На **Анапской пересыпи** содержание частиц  $>1.0$  мм (преимущественно ракушечный детрит) максимально у уреза (среднее 30%, максимальное 80%), меньше в пределах пляжа (среднее 10%, максимумы до 40%). На гребне авандюны содержание частиц  $>1.0$  мм составляет менее 1%. На подводном склоне наилучшие условия для сортировки наносов наблюдаются у гребней подводных валов, где также отмечена наименьшая вдольбереговая изменчивость содержания основных фракций. По содержанию фракции 0.16-0.2 мм в донных отложениях прослеживается граница литодинамически активной зоны. Максимально содержание этой фракции на гребнях подводных валов – около 40.0%, на глубине 5 м снижается до 33.8%, на 10 м – до 7.7%. В наземных пробах наилучшая сортированность отмечена для наносов с гребня авандюны. Для пляжевых и дюнных отложений схожи как содержание наиболее массовых фракций, так и его вдольбереговая изменчивость. Во вдольбереговом распределении прослеживается изменение условий осадконакопления на южном и северном краях пересыпи. Южный участок фиксирует влияние Анапского мыса (снижающего волновое воздействие). Северный участок отражает экранирующее влияние мыса Железный Рог и поступление большого объема материала алевритовой размерности с клифа. Кроме того, в распределении надводных отложений прослеживаются два схожих между собой участка в центральной части аккумулятивной дуги. Эти участки, вероятно, отражают влияние гидродинамической обстановки (обусловленной рельефом подводного склона и конфигурацией береговой линии). Не обнаружено корреляции в расположении участков с характерным гранулометрическим составом отложений и выявленными участками долговременного размыва (отступления) береговой линии.

На **Бакальской косе** установлено два основных источника наносов: продукты абразии, поступающие с вдольбереговым потоком и ракуша, поступающая с подводного склона и с вдольбереговым потоком. С западной стороны косы уклон дна допускает миграцию пляжеобразующих наносов с подводного склона, на восточной стороне этот процесс возможен только на ЮВ части косы. Особенности распределения минеральной составляющей наносов позволили предположить их миграцию с ЮЗ вдоль западной стороны косы вплоть до ее оконечности. В целом, в пляжевых отложениях восточной стороны косы преобладают более крупные пески, чем на западной.

В прикорневой части **западной стороны косы** в пляжевых отложениях преобладают средние пески; в центральной части мелкие и средние пески, вблизи оконечности – средние и крупные пески. Частицы  $<0.1$  мм практически отсутствуют. Сортированность значительно меняется вдоль берега, содержание преобладающей фракции находится в пределах 21.0-44.7 % (здесь и далее указано содержание без учета доли фракций крупнее 2 мм). Вблизи оконечности косы отмечено наличие двух почти равнозначных преобладающих фракций 0.315-0.4 и 0.5-0.63. Содержание фракций крупнее 2 мм невелико – 0.1-6.6 % от общего веса пробы.

В прикорневой части **восточной стороны косы** в пляжевых отложениях преобладают крупные и грубые пески, в центральной части и вблизи оконечности – крупные пески. Сортированность варьирует вдоль берега, содержание преобладающей фракции находится в пределах 29.2-47.7 %. Содержание фракций крупнее 2 мм составляет 0.5-24.5 % от общего веса пробы, как правило, преобладает ракуша, но присутствуют и минеральные обломки. Характерно отсутствие в составе наносов частиц  $<0.2$  мм.

На **дистальной оконечности косы** преобладают крупные и грубые пески, значительно содержание фракций крупнее 2 мм (22.7 % от общего веса пробы). Сортированность материала невысокая.

### 3.5 РАБОТЫ ПО АДАПТАЦИИ И НАСЫЩЕНИЮ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДАННЫХ

В 2017-2018 гг. произведена адаптация и насыщение океанологической базы данных для решения различных задач прибрежных и береговых исследований и произведена загрузка данных в соответствующие блоки. Выполнены работы по разработке структуры, определению состава и формированию баз данных для информационной поддержки прибрежных исследований российского сектора Черного моря. Структура специализированной базы данных для информационной поддержки прибрежных исследований предполагает наличие двух основных блоков – Блока океанографических данных и Блока данных прибрежной зоны.

Блок океанографических данных включает различные океанографические данные, полученные в ходе морских экспедиционных работ в прибрежной зоне, условно ограниченной изобатой 200 м; второй – результаты прибрежных исследований (береговых экспедиций) и дистанционных наблюдений прибрежной зоны. В качестве основы Блока океанографических данных использована информация из специализированной базы данных «Черное море» Морского гидрофизического института РАН. Текущая версия базы данных «Черное море» содержит данные о более чем 161000 океанографических (с 1890 года) и 44000 гидрохимических (с 1923 года) станций, а также данные по ряду других параметров. Значительная часть черноморских океанографических и гидрохимических станций выполнена в прибрежной зоне (более 115000 океанографических и 28000 гидрохимических).

В Блок данных прибрежной зоны входят три базы данных – база данных исследований прибрежной зоны, база данных эстуариев и лагун, база данных дистанционных исследований. Все эти базы будут включать как данные, полученные в ходе выполнения данного проекта, так и архивные материалы. База данных исследований прибрежной зоны будет содержать следующие данные:

- гранулометрический и минеральный состав осадков;
- содержание биогенного материала в отложениях;
- количественное и видовое распределение ракуши;
- морфологические характеристики подводного склона;
- положение береговой линии;
- морфологические характеристики пляжей: высота клифа ширина пляжа;
- наличие береговых защитных сооружений;
- степень антропогенного воздействия.

В Базу данных эстуариев и лагун входят данные, относящиеся к указанным объектам.

База данных дистанционных исследований включает новые и архивные материалы аэрофотосъемки, спутниковые снимки, а также фотографии и видео, полученные с помощью интеллектуальной камеры, установленной на беспилотном летательном аппарате.

Структура специализированной базы данных для информационной поддержки прибрежных исследований предусматривает также формирование Базы социально-экономических данных.

### 3.6 РАБОТЫ ПО РАЗРАБОТКЕ ВЕБ-САЙТА «МОРСКИЕ БЕРЕГА КРЫМА»

Веб-сайт «Морские берега Крыма» разработан в МГИ РАН в ходе выполнения настоящего проекта. С 2017 г. сайт доступен по адресу <http://coast-crimea.ru>. Сайт посвящен современному состоянию и актуальным проблемам береговой зоны Крыма, а также содержит информацию о проекте РНФ 14-17-00547 «Разработка прогноза развития аккумулятивных берегов бесприливных морей России». Главная страница содержит общую информацию о типах морских берегов Крымского полуострова, антропогенном воздействии на береговую зону.

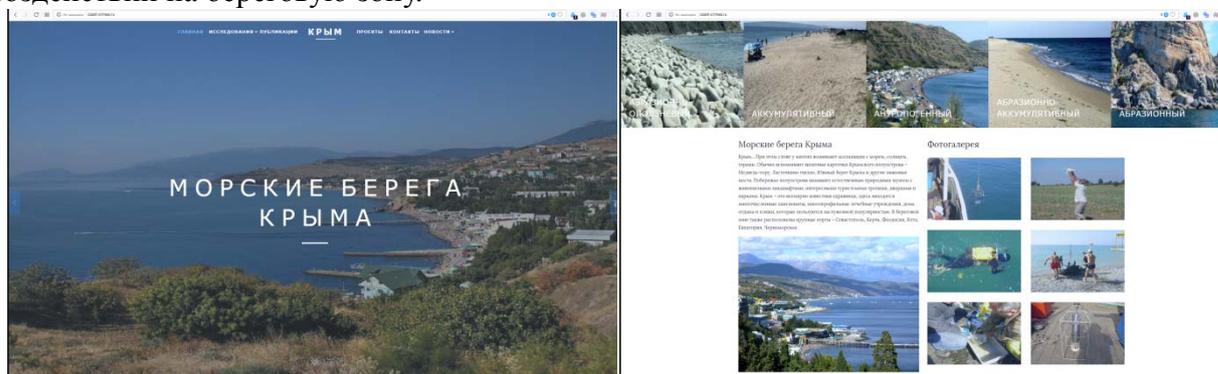


Рис. 3.1 – Стартовая страница веб-сайта «Морские берега Крыма»

Раздел «Исследования» включает следующие подразделы:

- морские берега Крым (вводная статья);
- обзор (представлены сведения о геоморфологических и общегеографических особенностях береговой зоны Крыма, а также изменения природных и антропогенных факторов, влияющих на побережье полуострова);
- экспедиции (содержит информацию об экспедиционных исследованиях, в том числе об экспедициях 2017 и 2018 годов в рамках проекта РНФ № 14-17-00547);
- библиография (библиография работ, посвященных береговой зоне Крыма);
- список участников исследовательской группы по береговой зоне Крыма);

Раздел «Публикации» (включает статьи, посвященные береговой зоне Крыма, в том числе подготовленные в рамках проекта РНФ № 14-17-00547);

Раздел «Проекты» (содержит информацию о проектах, нацеленных на исследования береговой зоны Крыма, в том числе информацию по проекту РНФ № 14-17-00547);

В разделе «Новости» приводится информация о предстоящих и текущих событиях. Раздел состоит из двух подразделов: конференции (содержит анонсы и решения конференций); СМИ о нас (включает газетные публикации и выступления на телевидении).

Раздел «Фотогалерея» содержит фотоматериалы, отражающие рабочие моменты полевых исследований, конференций и т.д.;

Раздел «Контакты». Приведена контактная информация ФГБУН МГИ и ведущих специалистов по данной тематике.

Раздел «Обратная связь». Позволяет пользователям сообщить интересные факты и оперативно информировать о происходящих в береговой зоне Крыма изменениях, связанных с природными явлениями или вмешательством человека.

Раздел «Полезные ссылки». Даны адреса сайтов близкой тематики.

Сайт «Морские берега Крыма» зарекомендовал себя как удобный и надежный инструмент информирования ученых, практиков и широкой общественности о современном состоянии, существующих проблемах и исследованиях побережья Крыма в целом и Бакальской косы в частности. За неполный год на сайте зафиксировано свыше 35 тысяч обращений из более чем 25 стран мира.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ: ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ И БАКАЛЬСКОЙ КОСЫ**

Методологической основой решения поставленных задач являлось представление о морских берегах как о морфодинамических системах, включающих множество взаимосвязанных элементов. Сравнительным анализом физико-географических условий Анапской пересыпи и Бакальской косы, анализом особенностей их современного строения и развития их литодинамических систем выявлены сходство и различия. Это позволяет использовать принцип аналогий при разработке прогнозов дальнейшего развития как этих, так и других подобных аккумулятивных форм Черного моря.

### Анапская пересыпь.

Существование Анапской пересыпи в конфигурации, слабо изменившейся за столетия, указывает на стабильное и устойчивое состояние ее литодинамической системы. Проведенные в ходе выполнения проекта расчеты показывают, что существуют два противоположно направленные вдольбереговые потока наносов, перераспределяющие их между различными участками пересыпи. Несмотря на существенное различие мощности этих потоков, наличие каждого из них не позволяет произойти долговременному размыву отдельного участка пересыпи. Даже после длительного действия потока одного направления, часть наносов возвращается на прежнее место, восстанавливая прежнюю конфигурацию морского берега. Среднее положение линии морского берега пересыпи отражает особенности общей конфигурации побережья между мысами Анапский и Железный Рог, особенности рельефа шельфа (наличие подводных банок и затопленной древней долины Кубани). В рамках этой конфигурации береговая линия на отдельных участках может трансформироваться в результате кратковременного или долгопериодного изменения параметров ветроволнового режима, изменения бюджета наносов, под влиянием антропогенного воздействия. Часть этих изменений носит необратимый характер (например, отступление северо-западного края пересыпи одновременно с отступанием абразионного берега). Отступление берега в юго-восточной части пересыпи, вероятно, вызвана сочетанием нескольких факторов: сменой направления преобладающих ветров, золовым накоплением песка в дюнах и антропогенным воздействием. Отступление берега на этом участке не носит необратимый характер, хотя в сложившихся условиях наиболее вероятно стабилизация линии берега в существующей конфигурации.

Наиболее сложным для изучения и количественной оценки является бюджет наносов в литодинамической системе Анапской пересыпи. В формировании бюджета наносов Анапской пересыпи участвовали не менее трех источников (аллювиальный материал Кубани, абразионный материал с Таманского п-ова, биогенные карбонаты).

Современный аллювий реки Кубань в настоящее время не поступает в литодинамическую систему Анапской пересыпи. При этом древний аллювий, скорее всего, являлся и является основой аккумулятивного тела пересыпи. В настоящее время этот материал на пересыпь не поступает, поскольку его отложения на шельфе находятся глубже возможного волнового воздействия.

Абразия берегов Таманского п-ова к юго-востоку от мыса Железный Рог приводит к поступлению большого количества твердого материала в море. Большая часть этого материала – алевриты, которые не способны накапливаться в прибрежной зоне. Доля пляжеобразующего материала в породах клифа, по нашим оценкам – не более 15%. Следует учесть, что и этот материал представлен большей частью фракциями 0.125-0.16 мм, составляющими основу подводных валов, но не способными формировать надводное тело пляжа на большей части пересыпи. Также отметим, что с ростом ширины бенча в районе Таманского п-ова происходит снижение волнового воздействия на клиф и, как результат – снижение объема поступления пляжеобразующих наносов.

Важным элементом бюджета наносов Анапской пересыпи является ракуша, поступающая с подводного склона. Содержание детрита в пляжевых отложениях достигает 30%, а в приурезовой зоне – до 80%. Большая часть пляжевых наносов крупнее 0,5 мм практически полностью представлены детритом. Таким образом, детрит является важной составляющей литодинамического бюджета. Кроме того, крупный детрит является регулятором интенсивности эолового выноса песка с пляжей, поскольку способствует формированию ветроустойчивой поверхности. Наша оценка объема поступающей в настоящее время на пляжи ракуши – 3-5% от необходимого для компенсации потерь на истирание. Этот объем подвержен колебаниям в очень значительных пределах.

В целом, в литодинамической системе Анапской пересыпи отмечается дефицит пляжеобразующих наносов, вызванный общим сокращением их поступления в систему. Поскольку прямой вынос наносов пляжеобразующей крупности за пределы системы отсутствует, потеря материала связана с постепенным его истиранием (по всей пересыпи), накоплением в дюнах (на отдельных участках), антропогенным изъятием (на отдельных участках). Как уже отмечено выше, механизм вдольберегового перераспределения наносов препятствует образованию локальных участков перманентного отступления берега, поэтому результатом дальнейшей потери пляжеобразующего материала будет отступление морского берега на всем протяжении пересыпи, но более интенсивное на ее краях.

В наиболее угрожающем положении находится Бугазская пересыпь, ширина которой местами уже менее 70 м, и есть признаки дальнейшего размыва. Согласно классической схеме развития пересыпи, при достаточном объеме пляжеобразующих наносов постепенное отступление морского берега компенсируется нарастанием лиманного берега (то есть пересыпь смещается в сторону лимана, не разрушаясь). Однако, наличие сплошной высокой дюны, непреодолимой для волн, препятствует этому процессу, приводя к одностороннему отступанию морского берега без выдвигания лиманного. Материал с размывтого морского берега выносится на смежные участки берега. Этот процесс будет продолжаться, пока не будет полностью разрушена дюна, после чего перенос песка на лиманный берег возобновится. Таким образом, смещение оси пересыпи в сторону лимана будет наблюдаться только после разрушения гряды дюн, до этого будет наблюдаться только сокращение ширины пересыпи за счет отступления морского берега. С учетом дефицита наносов, не исключено, что в ближайшие десятилетия ширина надводной части Бугазской пересыпи на некоторых участках может значительно уменьшиться. В период сильных штормов, сопровождающихся подъемом уровня моря, могут образовываться промоины в надводной части аккумулятивного тела. Тем не менее, возникновение постоянных проливов, соединяющих Черное море с Бугазским лиманом, в ближайшие десятилетия маловероятно, благодаря наличию реверсивного режима движения наносов, способствующего восстановлению размывтого участка. Таким образом, на северо-западном краю Анапской пересыпи (в пределах большей части Бугазской пересыпи) будет наблюдаться постепенное отступление морского берега, связанное как с продолжением отступления абразионного берега Таманского п-ова (к которому примыкает пересыпь), так и с дефицитом наносов. Постепенное отступление берега Бугазской пересыпи вскоре приведет к активизации разрушения клифов западного края Благовещенского останца. Поскольку клиф сложен рыхлыми неустойчивыми к размыву породами, отступление клифа будет идти практически с той же скоростью, что и общее отступление линии берега.

Как показали расчеты, существующий литодинамический режим способствует перемещению наносов с северо-западного и юго-восточного краев Анапской пересыпи в ее центральную часть (восточный край Благовещенского останца и Витязевскую пересыпь). Поскольку будут размываться главным образом дюны, в центральную часть пересыпи будет поступать песок крупности, пригодной для формирования дюн. Можно ожидать там некоторого увеличения ширины пляжей и скорости роста эоловых форм. По мере иссякания потока наносов, рост ширины пляжа сменится его отступанием. Далее будет повторяться ситуация Бугазской пересыпи, то есть после сокращения ширины пляжа

начнется постепенный размыв дюн. Поскольку ширина Витязевской пересыпи, в целом, и дюнного пояса, в частности, гораздо больше, процесс её размыва может продолжаться много десятилетий. Тем не менее, разрушение расположенных вблизи моря объектов может произойти в течение нескольких лет после начала размыва.

Истирание пляжеобразующих наносов и их вынос в виде мельчайшей взвеси в глубоководную часть моря с каждым годом будет сокращать объем наносов в литодинамической системе Анапской пересыпи. Потеря носит необратимый характер, и при отсутствии или недостаточности естественной подпитки пляжеобразующими наносами будет происходить постепенное отступление линии берега по всей длине пересыпи. Скорость отступления на разных участках и в разное время (в зависимости от текущей гидро-литодинамической обстановки) будет разная, с периодами резкого отступления и последующей стабилизации.

Следует отметить, что эти выводы сделаны для естественного хода эволюции геосистемы Анапской пересыпи. Антропогенное влияние на литодинамические процессы Анапской пересыпи пока сравнительно невелико. Хозяйственная деятельность (рекреационное использование, строительство различных объектов, движение транспорта) пока ограничивалась изменением рельефа пляжа и дюнного пояса. По нашим оценкам, антропогенное влияние способствовало отступанию морского берега пересыпи, но величина этого влияния пока, сравнительно с природными процессами, невелика.

Наши исследования указали на особую опасность техногенного вмешательства в существующий механизм вдольберегового перераспределения наносов. До настоящего времени на всем протяжении Анапской пересыпи нет техногенных объектов, существенно влияющих на вдольбереговые миграции наносов. В случае появления таких объектов неизбежно кардинальное изменение сложившегося механизма естественной стабилизации берега. В таких условиях возникнут зоны катастрофического размыва, в очень короткий срок (в течение нескольких сильных штормов) способные разрушить надводную часть

В числе обязательных мероприятий, направленных на рациональное природопользование и охрану природы в районе Анапской пересыпи, должен быть полный запрет на строительство объектов, влияющих на вдольбереговое перемещение наносов в любой части литодинамической системы пересыпи. Для оценки необходимости и определению стратегии разумной стабилизации морского берега пересыпи необходимо проведение дополнительного изучения и мониторинга природных процессов.

#### Бакальская коса.

Бакальская коса и прилегающие к ней участки побережья отличаются наибольшей для всего Крыма динамикой береговой зоны. В отличие от других районов, ввиду мелководности и относительной обособленности Каркинитского залива влияние на него изменчивости природных и антропогенных факторов очень значительно.

Как показали наши исследования, наибольшее влияние на трансформацию аккумулятивного тела Бакальской косы оказывают гидродинамические процессы – колебания интенсивности и направления волнения, изменения уровня моря; гидрохимические процессы, биологические процессы. В меньшей степени сказывается антропогенное влияние, иногда оно носит косвенный характер (например, способствует изменению структуры и продуктивности популяций раковинных моллюсков), иногда отмечается прямое воздействие на объем и транспорт наносов.

Исходя из полученных в ходе выполнения проекта данных, перечисленные факторы и процессы находятся в сложной взаимосвязи, определяя направление и скорость трансформации геосистемы Бакальской косы. Очевидно, что только систематические наблюдения за динамикой береговой зоны и использование математических моделей с наиболее полным учетом природных факторов могут определить основные тенденции развития Бакальской косы и дать научно обоснованный прогноз на будущее. Безусловно, начатую работу по изучению и мониторингу геосистемы Бакальской косы следует

продолжать. Тем не менее, некоторые выводы по перспективам развития косы можно сформулировать, основываясь на полученных нами за 2 года результатах:

Скорость и величина глобального повышения уровня Мирового океана существенно ниже межгодовых и синоптических колебаний уровня Черного моря, в масштабе десятилетий этот фактор не будет оказывать значимого влияния на развитие косы.

Интенсивность вертикальных тектонических движений в районе Бакальской косы невелика, этот фактор, возможно, оказал влияние на развитие косы на масштабе столетий, но в масштабе ближайших десятилетий этот фактор не окажет значимого влияния на развитие косы.

Климатические факторы (ветроволновой режим) оказывают существенное влияние на трансформацию аккумулятивного тела Бакальской косы, в первую очередь – определяя направление и мощность потока наносов. Изменения параметров ветроволнового режима (их наличие в регионе доказано нами в ходе выполнения проекта) приводят в значительным изменениям в мощности и даже направлении потоков наносов. Увеличение доли волнений С-СВ-В сектора будет способствовать нарастанию восточной ветви косы, но приведет к стагнации западной ветви. Увеличение доли или интенсивности волнений З-СЗ-С будет способствовать деградации дистальной части косы и острова, прикорневая и центральная части западной ветви при этом будут относительно стабильны. Увеличение доли или интенсивности волнений З-ЮЗ-ЮЮЗ сектора будет способствовать сохранению или даже росту дистальной части, но приведет к размыву прикорневой и центральной части западной ветви косы. Указанные тенденции верны при определенном постоянстве общего бюджета наносов.

Объем бюджета наносов в настоящее время зависит от двух основных факторов – скорости разрушения прилегающих к косе абразионных берегов (и образования продуктов абразии) и от продуктивности популяций раковинных моллюсков. Первый фактор напрямую зависит от интегральных характеристик и спектральной структуры волнения. Поскольку основной объем наносов поступает на Бакальскую косу с З-ЮЗ-ЮЮЗ (как с вдольбереговым потоком, так и с подводного склона), увеличение интенсивности штормов с этих направлений может способствовать росту аккумулятивного тела в целом (что не исключает размыв на отдельных участках). Процесс воспроизводства наносов биогенного происхождения (ракуши) зависит от целого ряда биогенных и абиогенных факторов и антропогенного влияния. В настоящее время нет признаков значительного увеличения или уменьшения продуктивности популяций моллюсков. Также пока не доказано влияние колебаний солености Каркинитского залива (происходящих как по природным, так и по техногенным причинам) на продуктивность моллюсков.

Образованию прорана в дистальной части косы и образованию острова предшествовал ускоренный рост длины дистали. Это могло быть следствием природных процессов (усиления вдольберегового переноса наносов), и (или) прямого антропогенного влияния. На протяжении многих лет производился отбор отложений Бакальской банки, это могло вызвать ускоренное перемещение наносов вдоль оси банки в сторону выемки, и способствовать образованию прорана в дистальной части косы. В настоящее время нет признаков восстановления перемычки, соответственно – разрушение острова будет продолжаться до его полного исчезновения. Тем не менее, при значительном усилении потока наносов вдоль западной ветви косы восстановление перемычки возможно.

Техногенное восстановление перемычки в существующих условиях нецелесообразно. Категорически неприемлемы любые технические решения, нарушающие вдольбереговые потоки наносов. Единственным реальным способом являются массовые отсыпки пляжеобразующего материала с западной стороны косы, однако объем такой отсыпки не поддается расчету, поскольку направление и емкость формирующихся вблизи оконечности Бакальской косы потоков наносов могут быть достоверно определены только после многолетнего мониторинга.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ, ПОДГОТОВЛЕННЫХ В ХОДЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТА

2017 год

1. Бровко П.Ф., Косьян Р.Д. (Brovko P.F., Kosyan R.D.) Specific Features of Estuaries, Lagoons, Limans: Concepts and Terms The diversity of Russian estuaries and lagoons exposed to human influence. Ed.: R. Kosyan, Heidelberg: Springer International Publishing (2017 г.) WOS SCOPUS РИНЦ
2. Годин Е., Ингеров А., Халиулин А., Косьян Р. (Godin E., Ingerov A., Khaliulin A., Kosyan R.) Information Support of Coastal Research Proceeding of Thirteenth International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST`17, 31 Oct. – 04 Nov. 2017, Mellieha, Malta. Ed. Ozhan E. (2017 г.) WOS SCOPUS
3. Горячкин Ю.Н. (Goryachkin Yu.N.) Крым в составе России: новые проблемы природопользования в береговой зоне. Материалы I Международного экологического форума в Крыму «Крым – эколого-экономический регион. Пространство ноосферного развития» 2017 года / Под ред. В.А.Иванова, Е.И. Игнатова, И.С. Кусова, Н.Н. Миленко, Е.В. Ясеновой, Е.А Котельянец. (2017 г.) РИНЦ
4. Горячкин Ю.Н., Гуров К.И. (Goryachkin Yu.N., Gurov K.I.) Механический состав пляжевых наносов Бакальской косы. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря (2017 г.) РИНЦ
5. Горячкин Ю.Н., Харитоновна Л.В. (Goryachkin Yu. N., Kharitonova L.V.) Changes of the Crimean Coast in the Last Century Proceeding of Thirteenth International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST`17, 31 Oct. – 04 Nov. 2017, Mellieha, Malta. Ed. Ozhan E. (2017 г.) WOS SCOPUS РИНЦ
6. Дивинский Б.В., Косьян Р.Д. (Divinsky B.V., Kosyan R.D.) Длиннопериодная изменчивость волновых условий в районе анапской пересыпи Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества (2017 г.) РИНЦ
7. Жук Е.А., Халиулин А.Х., Крыленко М.В., Крыленко В.В., Зодиатис Д., Николиадис М., Николиадис А. (Zhuk E.A., Khaliulin A.Kh., Krylenko M.V., Krylenko V.V., Zodiatis D., Nikoliadis M., Nikoliadis A.) Including granulometric sediment coastal data composition into the Black Sea GIS. Proc. SPIE 10444, Fifth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2017) (2017 г.) WOS SCOPUS РИНЦ
8. Косьян А.Р. (Kosyan A.R.) Dynamics Of Анапа bay-bar Rapana venosa population structure Proceeding of Thirteenth International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST`17, 31 Oct. – 04 Nov. 2017, Mellieha, Malta. Ed. Ozhan E. (2017 г.) WOS SCOPUS РИНЦ
9. Косьян Р.Д. (Kosyan R.D.) The Experience of Economic Activity at the Russian Sea Coasts Proceeding of Thirteenth International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST`17. 31 Oct. – 04 Nov. 2017. Mellieha. Malta. Ed. Ozhan E. (2017 г.) WOS SCOPUS РИНЦ
10. Косьян Р.Д. (Kosyan R.D.) The diversity of Russian estuaries and lagoons exposed to human influence. The diversity of Russian estuaries and lagoons exposed to human influence. Series: Estuaries of the World. Heidelberg: Springer International Publishing (2017 г.) WOS SCOPUS РИНЦ
11. Косьян Р.Д. (Kosyan R.D.) Недостатки существующей системы комплексного управления береговой зоной российского сектора Черного моря Научный электронный журнал Бюллетень науки и практики (2017 г.) WOS SCOPUS РИНЦ
12. Косьян Р.Д. (Kosyan R.D.) О проблемах комплексного управления береговой зоной российского сектора Черного моря Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества (2017 г.) РИНЦ
13. Косьян Р.Д., Бровко П.Ф., Дюкроту Ж.-П. (Kosyan R.D., Brovko P.F., Ducrottoy J.-P.) The Diversity of Russian Estuaries The diversity of Russian estuaries and lagoons exposed to human influence. ed.: R. Kosyan, Heidelberg: Springer International Publishing (2017 г.) WOS SCOPUS РИНЦ
14. Косьян Р.Д., Горячкин Ю.Н., Годин Е.А., Харитоновна Л.В., Крыленко В.В., Крыленко М.В. (Kosyan R.D., Goryachkin Yu.N., Godin E.A., Kharitonova L.V., Krylenko V.V., Krylenko M.V.) Мониторинг состояния аккумулятивных берегов Западного Крыма. Сб. тезисов научной конференции «Моря России: наука, безопасность, ресурсы». 3-7 октября (2017 г.) РИНЦ

15. Косьян Р.Д., Дивинский Б.В. (Kosyan R.D., Divinskii B.V.) Wave climate variation of the Black Sea A. Gilbert, and V. Yanko-Hombach (Eds.), Proceeding of UNESCO – IUGS – IGCP 610 and INQUA IFG FOCAS Joint plenary conference, October 1-9, 2017, Palermo, Italy, University of Palermo (2017 г.) WOS SCOPUS РИНЦ
16. Косьян Р.Д., Крыленко В.В., Крыленко М.В. (Kosyan R.D., Krylenko V.V., Krulenko M.V.) Regional Peculiarities of the Criteria Selection for Multidisciplinary Classification of Coasts Proceeding of Thirteenth International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST`17. 31 Oct. – 04 Nov. 2017, Mellieha, Malta. Ed. Ozhan E. (2017 г.) WOS SCOPUS РИНЦ
17. Косьян Р.Д., Крыленко В.В., Крыленко М.В. (Kosyan R.D., Krylenko V.V., Krylenko M.V.) Выбор критериев для геоэкологической оценки Азово-Черноморских берегов России Материалы I Международного экологического форума в Крыму «Крым – эколого-экономический регион. Пространство ноосферного развития». Ред. В.А. Иванова, Е.И. Игнатова, И.С. Кусова, Н.Н. Миленко, Е.В. Ясеновой, Е.А Котельянец. (2017 г.) РИНЦ
18. Крыленко В.В. (Krylenko V.V.) Estuaries and lagoons of the Russian Arctic Seas. The diversity of Russian estuaries and lagoons exposed to human influence. Ed.: R. Kosyan, Heidelberg: Springer International Publishing (2017 г.) WOS SCOPUS РИНЦ
19. Крыленко В.В., Крыленко М.В. (Krylenko V.V., Krylenko M.V.) Lagoons of the Black Sea. The diversity of Russian estuaries and lagoons exposed to human influence. ed.: R. Kosyan, Heidelberg: Springer International Publishing (2017 г.) WOS SCOPUS РИНЦ
20. Крыленко М.В., Жук Е.А., Халиулин А.Х. (Krylenko M.V., Zhuk E.A., Khaliulin A.Kh) Using of GIS technology for access to coastal data Proceeding of Thirteenth International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST`17, 31 Oct. – 04 Nov. 2017, Mellieha, Malta. Ed. Ozhan E. (2017 г.) WOS SCOPUS РИНЦ
21. Крыленко М.В., Косьян Р.Д., Крыленко В.В. (Krylenko M.V., Kosyan R.D., Krylenko V.V.) Lagoons of the smallest Russian sea. The diversity of Russian estuaries and lagoons exposed to human influence. Ed.: R. Kosyan, Heidelberg: Springer International Publishing (2017 г.) WOS SCOPUS РИНЦ
22. Крыленко М.В., Крыленко В.В. (Krylenko M.V., Krylenko V.V.) Active registration method of the coast changes Proceeding of Thirteenth International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST`17, 31 Oct. – 04 Nov. 2017, Mellieha, Malta. Ed. Ozhan E. (2017 г.) WOS SCOPUS РИНЦ
23. Крыленко С.В. (Krylenko S.V.) Геологическое строение и экзогенные процессы на клифе как фактор экологии *Seseli ponticum* Комплексные исследования Мирового океана. Материалы II Всероссийской научной конференции молодых ученых. (2017 г.) РИНЦ
24. Крыленко С.В. (Krylenko S.V.) Сукцессионные особенности тамарикса на природных и техногенных ландшафтах Анапской пересыпи Материалы Международной научно-технической конференции «Системы контроля окружающей среды – 2017», 06-09 ноября 2017 г., Севастополь (2017 г.) РИНЦ
25. Федорова Е.А. (Fedorova E.A.) Построение геоморфологической карты Анапской пересыпи и Кизилташской группы лиманов Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXVII Всероссийской молодежной конференции с участием исследователей из других стран (г. Иркутск, 22–28 мая 2017 г.) (2017 г.) РИНЦ
26. Фёдорова Е.А. (Fedorova E.A.) Creation of a digital elevation model of the bottom according to echosounding Proc. SPIE 10444, Fifth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2017). (2017 г.) WOS SCOPUS РИНЦ
27. Харитоновна Л.В., Косьян Р.Д., Горячкин Ю.Н., Крыленко В.В., Крыленко М.В., Годин Е.А. (Kharitonova L.V., Kos'yan R.D., Goryachkin YU.N., Krylenko V.V., Krylenko M.V., Godin Ye.A.) Monitoring of the West Crimean coast by Drone Innovations in Geology, Geophysics and Geography-2017. Conference materials of the 2nd International Youth Scientific and Practice Conference, 07-09 July, 2017, Moscow (2017 г.) РИНЦ

1. Divinsky B., Kosyan R. 2018. Parameters of wind seas and swell in the Black Sea based on numerical modeling. *Oceanologia*, 60, pp. 277—287. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2017.11.006>. SJR 0.637. CiteScore (Scopus) 1.78, SNIP 1.157.
2. Divinsky, B.V. and Kosyan, R.D., 2018. Wave Climate of the Coastal Zone of the Crimean Peninsula. *Physical Oceanography, [e-journal]* 25(2), pp. 93-101. doi: 10.22449/1573-160X-2018-2-93-101.
3. Godin E., Ingerov A., Kosyan R. Improvement of Specialized Database for Information Support of Coastal Research / Geophysical Research Abstracts. EGU General Assembly. – 2018. – Vol. 20. – EGU2018-2395. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2018/posters/26758>
4. Kosyan R.D. Nowday state of ICZM for the Black sea / Book of abstracts EMECS12 “Cooperative stewardship for integrated management toward resilient coastal seas”. Pattaya, Thailand. – 4-8 November 2018. – P. 42
5. Kosyan R., Divinsky B., Fedorova E. Sandy sediment transport along Anapa bay bar (the Black Sea, Russia) // Proc. of the Sixth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2018). 2018, Paphos, Cyprus. Vol. 10773. <https://doi.org/10.1117/12.2322835>.
6. Kosyan R.D., Divinsky B.V. Lithodynamics of the coastal zone. In “Diversity of coastal marine sciences” ed. Ch. Finkl, Ch. Makovski. Springer, 2018. — (Coastal Research Library: Volume 23) —712 p. (115-131), ISBN 978-3-319-57576-6.
7. Krylenko M.V., Krylenko V.V., Volkova T.A. Development prospects of natural-territorial complex of the Dolgaya spit / Ocean and Coastal Management. – 2018. – V. 166. – P. 98-102. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2018.03.020
8. Krylenko Marina, Viacheslav Krylenko, Sergey Krylenko Use of Remote Sensing Data on Tamarix to Study Relief Dynamics of the Anapa Bay-bar // Book of Abstracts of the 38th EARSeL Symposium. MAICh. – 2018. – P. 24-25. <https://e.mail.ru/thread/0:15426110080000000812:6/>
9. Krylenko M., Krylenko V., Krylenko S. Use of the Remote Sensing Data on Tamarix to Study Relief Dynamics of the Anapa Bay-bar / Land: Monitoring Land Cover Change: Towards Sustainability (в печати)
10. Zhuk E., Krylenko V., Krylenko M., Zodiatis G. Dolgaya spit dynamics visualization by using Black Sea GIS regional module / Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. – 2018. – V. 10773. – P. 107731F. doi: 10.1117/12.2326496
11. ZhukE., GodinE., IngerovA., IsaevaE. Geoinformation system of Russian Black Sea coastal zone / IMDIS 2018 International Conference on Marine Data and Information Systems (5-7 November, 2018 Barcelona, Spain) – *Bollettino di Geofisica teorica ed applicata* Vol. 59, supliment 1 – P. 233– 235
12. Галковская Л.К., Годин Е.А., Горячкин Ю.Н. Веб-сайт «Морские берега Крыма» // Материалы XXVII-ой Международной береговой конференции. Мурманск: МАГУ. – 2018. – С. 374-377. ISBN: 978-5-4222-0367-3
13. Горячкин Ю.Н., Косьян Р.Д. Бакальская коса – уникальный природный объект Крымского полуострова / Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2018. – № 4. – С. 5-14. doi: 10.22449/2413-5577-2018-4-5-14. ISSN 2413-5577
14. Горячкин Ю.Н. Сохранятся ли пляжи аккумулятивных берегов западного Крыма? // Материалы XXVII-ой Международной береговой конференции. Мурманск: МАГУ. – 2018. – С. 193-197. ISBN: 978-5-4222-0367-3
15. Горячкин Ю.Н., Косьян Р.Д., Крыленко В.В. Природно-хозяйственная оценка берегов Западного Крыма / Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2018. – Вып.3. – С.41-55. doi: 10.22449/2413-5577-2018-3-41-55 ISSN 2413-5577
16. Дивинский Б.В. Гидродинамические условия вод в районе Бакальской косы // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2018. – № 4. – С. 31-39 ISSN 2413-5577; doi: 10.22449/2413-5577-2018-4-31-39
17. Дивинский Б.В., Косьян Р.Д. Волновой климат прибрежной зоны Крымского полуострова // *Морской гидрофизический журнал*. 2018. Т. 34, № 2. С. 101–110. doi: 10.22449/0233-7584-2018-2-101-110.
18. Косьян А.Р., Дивинский Б.В. Опыт мониторинга *chamelea gallina* в прибрежье Анапской пересыпи в 2016-2017 / Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества / отв. ред. И.Г. Чайка, Ю.В. Ефремов, Л.А. Морева. – Краснодар: Платонов. – Вып. 10. – 2018. – XX-XX.

19. Косьян Р.Д., Крыленко В.В., Крыленко М.В. Разработка прогноза развития аккумулятивных берегов бесприливных морей России // Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества / отв. ред. И.Г. Чайка, Ю.В. Ефремов, Л.А. Морева. – Краснодар: Платонов. – Вып. 10. – 2018. – XX-XX ISBN
20. Крыленко В.В., Косьян Р.Д., Крыленко М.В. Региональные особенности формирования крупных аккумулятивных форм Азово-черноморского побережья // Материалы XXVII-ой Международной береговой конференции. Мурманск: МАГУ. – 2018. – С. 100-104. ISBN: 978-5-4222-0367-3
21. Крыленко М.В., Косьян Р.Д., Бровко П.Ф. Практический опыт использования системы критериев для комплексной оценки состояния берегов Черного, Охотского и Японского морей // Материалы XXVII-ой Международной береговой конференции. Мурманск: МАГУ. – 2018. – С. 238-242. ISBN: 978-5-4222-0367-3
22. Крыленко М.В., Крыленко В.В. Исследование гранулометрического состава пляжевых и донных отложений Бакальской косы // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2018. – № 4. – С. 40-49. ISSN 2413-5577; doi: 10.22449/2413-5577-2018-4-40-49
23. Крыленко В.В., Крыленко М.В. Высоточная съемка рельефа Бакальской косы / Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2018. – № 4. – С. 65-72. ISSN 2413-5577; doi: 10.22449/2413-5577-2018-4-65-72
24. Федорова Е.А. Современная динамика рельефа берега в районе мыса Железный рог (Таманский п-ов, Черное море). // В сборнике: Арктические берега: путь к устойчивости. Материалы XXVII Международной береговой конференции (24-29 сентября 2018). – Мурманск: МАГУ, 2018. С. 357-360. ISBN 978-5-4222-0367-3. РИНЦ: [elibrary.ru/item.asp?id=36332115](http://elibrary.ru/item.asp?id=36332115)
25. Годин Е.А., Ингеров А.В., Галковская Л.К. Информационная поддержка прибрежных исследований: Каркинитский залив и Бакальская коса. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2018. – № 4. – С. 92-100 ISSN 2413-5577; doi: 10.22449/2413-5577-2018-4-92-100
26. Руднев В.И. Особенности рельефа дна прибрежной зоны Бакальской косы. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2018. – № 4. – С. 15-21 ISSN 2413-5577; doi: 10.22449/2413-5577-2018-4-15-21
27. Горячкин Ю.Н., Харитонов Л.В. Динамика береговой линии в районе Бакальской косы. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2018. – № 4. – С. 22-30 ISSN 2413-5577; doi: 10.22449/2413-5577-2018-4-22-30
28. Крыленко В.В., Руднев В.И. Методика аэрофотосъемки Бакальской косы. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2018. – № 4. – С. 59-64 ISSN 2413-5577; doi: 10.22449/2413-5577-2018-4-59-64
29. Крыленко С.В., Крыленко В.В. Влияние трансформации дистальной части Бакальской косы на орнитофауну. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2018. – № 4. – С. 73-80. ISSN 2413-5577; doi: 10.22449/2413-5577-2018-4-73-80
30. Косьян А.Р. Роль прибрежных моллюсков в формировании карбонатных осадков Бакальской косы. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2018. – № 4. – С. 81-91 ISSN 2413-5577; doi: 10.22449/2413-5577-2018-4-81-91
31. Косьян Р.Д., Крыленко В.В. Основные критерии комплексной классификации Азово-Черноморских берегов России / Океанология. – 2018. – Т. 58. – №3. – С. 501-511. DOI: 10.7868/S0030157418030140 WOS SCOPUS РИНЦ