

Российская Академия Наук

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

Проект РНФ 14-17-00547

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

Отчет по первому году работ (промежуточный 2017 г.)

Руководитель проекта
д-р географических наук, профессор

_____ Р.Д. Косьян
подпись, дата

Геленджик, Севастополь
2017

ВВЕДЕНИЕ	4
Часть 1 ПРОДОЛЖЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И МОНИТОРИНГА ГЕОСИСТЕМЫ АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ	6
1.1 Общие сведения	6
1.2 Краткая характеристика геосистемы Анапской пересыпи	6
1.3 Программа, методики экспедиционных работ 2017 г. на Анапской пересыпи	7
1.3.1 Общие сведения по организации работ	7
1.3.2 Маршрутные исследования.	7
1.3.3 Батиметрическая съемка	8
1.3.4 Изучение механического и минерального состава наносов	9
1.3.5 Отбор проб зообентоса на морском подводном склоне Анапской пересыпи	10
1.3.6 Полевое исследование состояния растительного покрова	11
1.3.7 Аэрофотосъемка с беспилотного аппарата	13
1.4 Предварительные результаты исследований Анапской пересыпи в 2017 г.	14
1.4.1 Обработка и анализ данных дистанционного зондирования	14
1.4.2 Обработка проб и анализ механического состава наносов	18
1.4.3 Анализ изменчивости рельефа подводного склона	20
Часть 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ, ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО, ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО И ЛИТОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА АККУМУЛЯТИВНЫХ БЕРЕГОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА	21
2.1 История изучения аккумулятивных берегов Крыма	21
2.2 Общая характеристика аккумулятивных берегов Крыма	24
2.2.1 Основные типы и протяженность аккумулятивных берегов Крыма	24
2.2.2 Механический состав пляжевых отложений	25
2.2.3 Вещественный состав пляжевых отложений	26
2.3 Крупнейшие аккумулятивные формы берегов Крымского полуострова и факторы, определяющие их эволюцию	29
2.3.1 Район вершины Каркинитского залива	29
2.3.2 Бакальская коса	31
2.3.3 Аккумулятивные берега в Тарханкутских бухтах	33
2.3.4 Аккумулятивные берега в районе оз. Донузлав	34
2.3.5 Аккумулятивные берега района Евпатории и Каламитского залива	35
2.3.6 Аккумулятивные берега в устьях рек Западного Крыма	39
2.3.7 Аккумулятивные берега Феодосийского залива и оз. Узунлар	40
2.3.8 Аршинцева коса и остров Тузла	41
2.3.9 Аккумулятивные берега Крыма в Азовском море (Казантипский залив и Арабатская стрелка)	42
2.4 Волновой климат прибрежной зоны Крымского полуострова	43
2.4.1. Современные методы анализа волнового климата	43
2.4.2. Выделение компонент волнения	43
2.4.3. Настройка волновой модели	46
2.4.4 Климатические особенности распределения компонент волнения по результатам моделирования	50
2.4.5 Выводы по разделу	54
2.5 Выбор тестового участка	55

Часть 3 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕСТОВОГО УЧАСТКА БЕРЕГОВЫХ АККУМУЛЯТИВНЫХ ГЕОСИСТЕМ В ПРЕДЕЛАХ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА	57
3.1 Общие сведения о геосистеме Бакальской косы и прилегающем участке северо-западного побережья Крымского полуострова	57
3.2 Формирование Бакальской косы и потоки наносов	61
3.3 Эволюция морфосистемы Бакальской косы	64
3.4 Изменения береговой линии Бакальской косы по данным дистанционного зондирования	68
3.5 Ветровой режим района Бакальской косы	70
3.5.1 Используемые данные, методы измерений и обработки	70
3.5.2 Скорость ветра	71
3.5.3 Направление ветра	74
3.5.4 Сильные ветры	77
3.6 Режим ветрового волнения	79
3.6.1 Используемые данные, условия и методы наблюдений	79
3.6.2 Высота волн	79
3.6.3 Направление распространения волн	81
3.6.4 Сезонные изменения волнения	83
3.6.5 Максимальные высоты волн	86
3.7 Межгодовые изменения ветра и волнения	88
3.8 Уровень моря в западной части Крыма	91
3.8.1 Межгодовая изменчивость уровня	91
3.8.2 Сезонный ход уровня	92
3.8.3 Экстремальные значения уровня	93
3.9 Характеристика зообентоса Каркинитского залива	94
Часть 4 ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ РЕКОГНОСЦИРОВОЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕРЕГОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА	95
4.1 Программа, методики и организация экспедиционных работ 2017 г.	95
4.2 Основные результаты экспедиционных работ 2017 г. на Крымском полуострове	98
4.2.1 Визуальное обследование и аэрофотосъемка с БПЛА	98
4.2.2 Изучение фауны моллюсков рыхлых грунтов	100
4.2.3 Изучение механического и минерального состава наносов	101
Часть 5 СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИБРЕЖНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	102
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	104
ЛИТЕРАТУРА	105

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 (экспедиционных работ, дистанционных и камеральных исследований, математического моделирования и т.п.) показали свою эффективность. Были получены новые данные о строении и динамике изученных аккумулятивных форм, выявлены общие закономерности и региональные отличия их развития. В ряде случаев новые данные подтвердили имевшиеся представления о ходе развития исследуемых аккумулятивных тел, в ряде случаев – опровергли их. На завершающем этапе работ было отмечено, что закономерности, отмеченные для двух детально изученных аккумулятивных форм (Анапской пересыпи и Вислинской косы), 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 и примененных в ходе выполнения настоящего проекта 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 (к примеру – ориентацией относительно преобладающих ветров и волнений, составом и бюджетом наносов и т.п.). Этим требованиям могут соответствовать крупные аккумулятивные формы Крымского полуострова, изучение которых на первом этапе было невозможно по геополитическим причинам. 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. Проведение исследований одной из этих аккумулятивных форм с использованием отработанной нами методики 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. Это позволит уточнить, подтвердить или опровергнуть представления об общих и региональных закономерностях формирования аккумулятивных береговых геосистем. Выявленное сходство и различия позволят использовать принцип аналогий при разработке прогнозов дальнейшего развития берегов и разработке природоохранных мероприятий, как для изученных в ходе выполнения проекта объектов, так и для подобных аккумулятивных форм на различных побережьях бесприливных морей.

Исходя из поставленной задачи, для вновь изучаемого природного объекта предполагается провести полный комплекс натуральных и аналитических исследований по отработанной в ходе выполнения основного проекта методике. Очевидно, что получение такой информации, помимо её важности для развития фундаментальной науки, имеет большое прикладное значение, поэтому при выборе объекта для изучения одним из важнейших требований была его высокая хозяйственная и природоохранная ценность.

Кроме того, проведенные на первом этапе выполнения проекта исследования Анапской пересыпи позволили получить новые данные о строении и механизме развития различных компонентов геосистемы аккумулятивного тела. Продолжение мониторинга изученной аккумулятивной формы позволяет получить ценную информацию о динамике различных компонентов ее геосистемы в течении нескольких лет. Многие природные процессы имеют периодичность, значительно превышающую сроки выполнения одного проекта (3 года). К настоящему времени на Анапской пересыпи в рамках проекта проведено 3 цикла комплексных экспедиционных работ, что позволило получить представление о межгодовой динамике её элементов. Проведение еще 2-х циклов исследований позволит выявить многолетнюю динамику.

Таким образом, в число исследований второго этапа выполнения проекта № 14-17-00547 входит продолжение мониторинга основных компонентов геосистемы уже изученного природного объекта (Анапской пересыпи) и получение новой информации о морфологически схожем природном объекте в близких физико-географических условиях, но отличающемся некоторыми параметрами.

Настоящий отчет отражает ход выполнения проекта в 2017 г. и содержит основные полученные результаты. Приведены сведения по программе, организации и основных результатах экспедиционных работ. Также в отчете приведены сведения по изучаемым берегам Крымского полуострова, собранные из собственных материалов, литературных и фондовых источников, имевшихся в распоряжении исполнителей. Эти материалы обобщены, проанализированы и дополнены вновь полученными в ходе выполнения проекта материалами и данными.

Основной задачей работ 2017 г. стало получение информации, достаточной для обоснованного выбора в пределах Крымского полуострова тестового участка для детальных исследований, одновременно обладающего как высокой природоохранной и хозяйственной ценностью, так и высокой степенью сохранности природной среды, позволяющей использовать этот объект в качестве репрезентативного. Объектом исследований в 2017 г. стали крупные аккумулятивные формы Крымского полуострова, расположенные в Каламитском, Каркинитском и Феодосийском заливах Черного моря и в западной части Азовского моря. Кроме того, в 2017 г. было продолжено начатое на первом этапе выполнения проекта накопление мониторинговых данных по Анапской пересыпи, необходимое для верификации различных критериев, параметров и характеристик для последующего выявления и анализа локальных и региональных гидролитодинамических процессов.

Часть 1

ПРОДОЛЖЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И МОНИТОРИНГА ГЕОСИСТЕМЫ АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ

1.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Детальная характеристика геосистемы Анапской пересыпи, подготовленная по литературным данным и материалам новых исследований, выполненных при поддержке РФФ, была выполнена на первом этапе. В 2017 году были выполнены исследования Анапской пересыпи, позволяющие проводить сравнительный анализ с другими подобными природными системами региона. Кроме того, были продолжены мониторинговые исследования, позволяющие получить данные о динамике различных компонентов геосистемы пересыпи.

В данном отчете приведена лишь краткая характеристика геосистемы Анапской пересыпи, позволяющая ориентироваться в пространственных и смысловых границах выполненных в 2017 г. исследований.

1.2 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОСИСТЕМЫ АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ

Анапская пересыпь – это береговая аккумулятивная песчаная форма протяженностью около 47 км, расположенная 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). 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 отмель (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, неизбежной 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.

1.3 ПРОГРАММА, МЕТОДИКИ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ РАБОТ 2017 г. НА АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ

1.3.1 Общие сведения по организации работ

В 2017 г. в пределах геосистемы Анапской пересыпи проведен новый цикл экспедиционных работ. 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 участка, на котором в 2017 г. проводились экспедиционные исследования Анапской пересыпи, составила около 47 км (от мыса Анапский на юго-востоке до оз. Соленое на северо-западе). Административно территория относится к Темрюкскому и Анапскому районам Краснодарского края. 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.).

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.

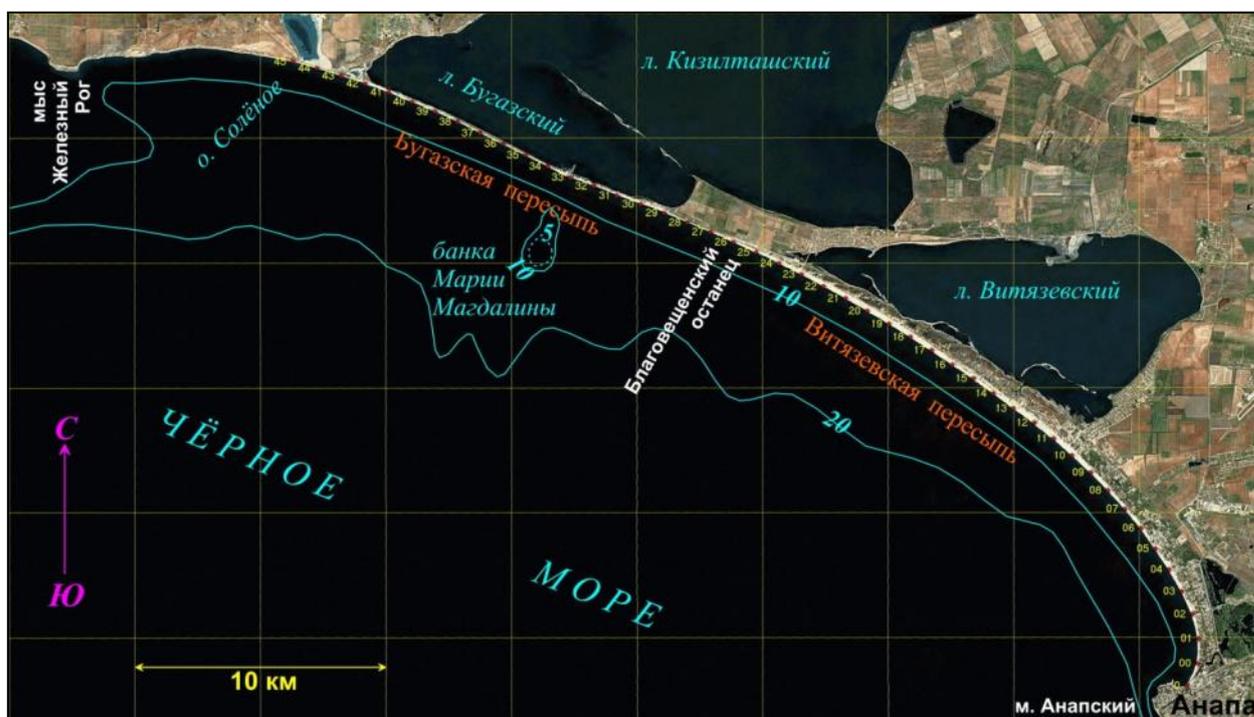


Рис. 1.1 – Схема Анапской пересыпи с опорными профилями

1.3.2 Маршрутные исследования.

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 авантюны, 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).

1.3.3 Батиметрическая съемка

Целью ежегодной батиметрической съемки является 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 2017 г. батиметрическая съемка прибрежной акватории 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» (рис. 1.3), 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".

Базирование катера производилось на базе МЧС в ст. Благовещенской. Морские работы производились только при благоприятной погоде, поскольку защищенная от волн гавань в районе работ отсутствовала. Спуск катера на воду и последующий подъем производились по временному слипу из бетонных плит (рис. 1.3). После интенсивных штормов слип приходилось восстанавливать, что снижало производительность работ.



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



Рис. 1.3 – Вверху: база МЧС в ст. Благовещенской, внизу: спуск МНИС «Профессор Лонгинов» на воду осуществлялся трактором по временному слипу

1.3.4 Изучение механического и минерального состава наносов

В ходе предшествующих экспедиций 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 составление схемы движения вдольберегового потока песчаных и галечных наносов, и выявление источников поступления наносов в литодинамическую систему. В 2017 г. на берегу и подводном склоне был проведен повторный отбор проб для выявления межгодовой изменчивости.

Отбор проб донных отложений производился на гребне подводного вала и на фиксированной глубине 7 м (за пределами подводных валов) водолазом с катера (рис. 1.4). Определение точек для отбора с учетом морфологии дна и глубины, и фиксация координат точек отбора проводились с использованием навигационной аппаратуры катера. Одновременно производился отбор живых двустворчатых моллюсков и (или) раковинного детрита для биологических исследований (рис. 1.5). Общая протяженность галсов для взятия подводных проб с учетом подхода и маневров катера составила 79 км.

Для сухопутной части пробы отбирались на пляже и на гребне авантюны. Отбор пробы производился с поверхности мерной емкостью. Место отбора пробы фотографировалось для облегчения дальнейшего анализа. Если на профиле имелись явные нарушения естественного рельефа или состава отложений, пробы отбирались на ближайшем ненарушенном участке. Для оценки количества галечного материала на пляже производился подсчет на пробной площадке (1 м²), отдельно оценивалось относительное расположение галечных россыпей относительно морфологических элементов пляжа. Координаты точек отбора проб фиксировались при помощи GPS.



Рис. 1.4 – Отбор проб донных отложений на механиз



Рис. 1.5 – Отбор проб для определения содержания раковинных моллюсков

1.3.5 Отбор проб зообентоса на морском подводном склоне Анапской пересыпи

В 2017 г. было продолжено исследование прибрежных донных биоценозов Анапской пересыпи 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 (рис. 1.6). Водолазы с помощью рамки размером 33x33 см собирали слой песка под рамкой толщиной около 3 см, крупных брюхоногих моллюсков (рапану) отбирали на площади 100 м². 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. Возраст двустворчатых моллюсков определялся по линиям наружного роста и сезонным зонам роста, а также по отпечатку аддуктора; возраст рапаны определялся по нерестовым меткам на раковине.



Рис. 1.6 – Точки отбора проб зообентоса в 2017 г.

1.3.6 Полевое исследование состояния растительного покрова

Целью экспедиционных исследований растительного покрова и ландшафтно-морфологической структуры было получение натурных данных по структуре и состоянию растительного покрова. Фиксировалось наличие, состав и состояние растительного покрова; определялись контура ландшафтно-морфологических объектов; определялось количество экземпляров взрослых растений и поросли.

В 2017 г. была проведена работа по определению возможностей восстановления растительного покрова (на примере кустарника тамарикса) в природных условиях и после антропогенного нарушения (Крыленко С.В., 2017-3). 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). В целом, на Анапской пересыпи тамарикс встречается как обычный вид, но его плотность существенно варьирует как вдоль протяженности пересыпи, так и на ее поперечном профиле. Тамарикс играет важную роль в увеличении устойчивости дюн к эоловому разрушению (рис. 1.7).



Рис. 1.7 – Тамарикс способствует закреплению дюн (Бугазская пересыпь)

Исследование было проведено в центральной части Анапской пересыпи, в районе ст. Благовещенская. На останце коренного берега, вблизи от моря, в ходе строительства первого объекта игровой зоны, в 2013 г. был вырыт обширный котлован (рис. 1.8, 1.9). Общая площадь котлована составила 39500 м², площадь плоского дна (ограниченного по периметру вертикальной бетонной стенкой высотой 4 м) составила 18500 м². Поверхность грунтового дна практически ровная, перепады не превышают 1-1.5 м, имеются локальные понижения, в которых скапливаются атмосферные осадки (рис. 1.8, 1.9). Над бетонной стенкой располагается плоская терраса шириной 10-15 м (ее площадь 5000 м²), выше до бровки котлована идет незакрепленный грунтовый откос (его площадь 16000 м², высота 11 м). Расстояние от бровки котлована до бровки коренного берега составляет 150 м, эта ровная поверхность вплоть до последнего времени распахивалась, и сейчас покрыта травянистой сорной растительностью (рис. 1.8). Склон коренного берега покрыт естественной луговой растительностью с плотной дерниной. Как на поверхности останца, так и на склоне тамариск (и другие виды растений, характерные для дюн) не встречается. К коренному склону высотой 13-14 м снизу примыкает пояс дюн общей шириной около 40-50 м с фрагментарной псаммофильной растительностью.



Рис. 1.8 – Вверху – исследуемый участок берега (вдали – ст. Благовещенская); внизу – заросли тамарикса на дне котлована

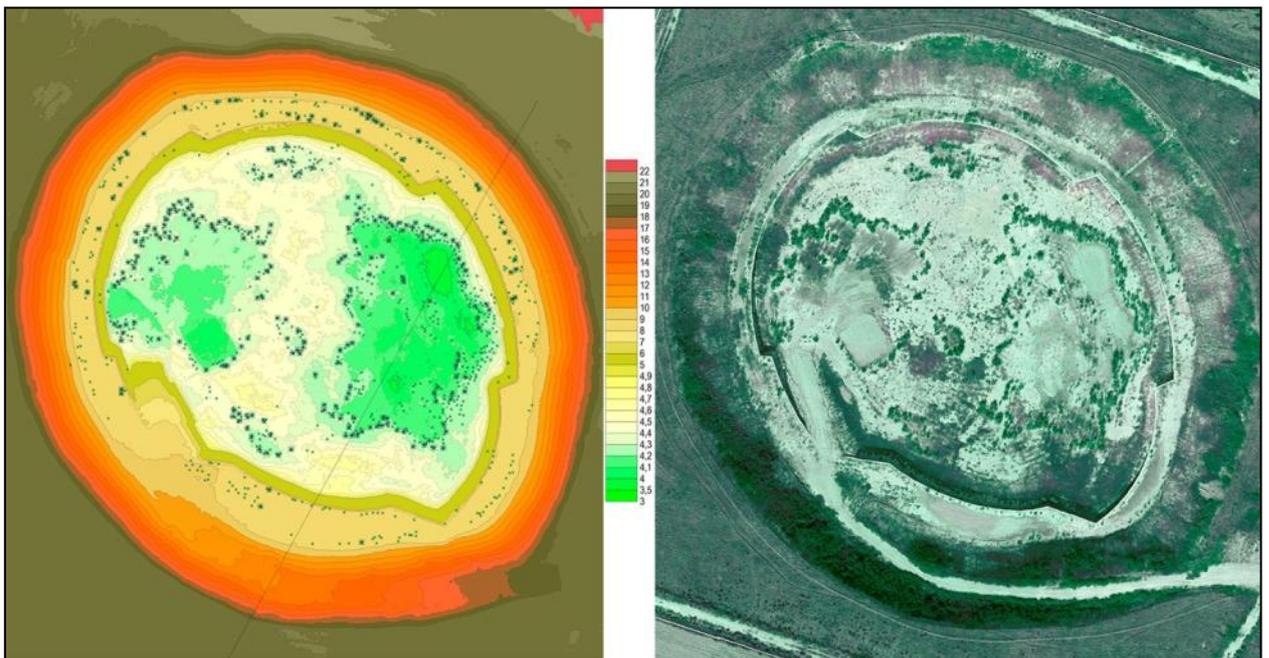


Рис. 1.9 – Рельеф и размещение кустов тамарикса по дну котлована (слева), космический снимок исследуемого котлована (справа)

В ходе исследований было отмечено массовое распространение тамарикса в пределах техногенного ландшафта котлована всего за 3-4 года. В 2016-2017 гг. на дне котлована и террасе были учтены сотни как уже цветущих, так и молодых экземпляров тамарикса. Семена в котлован были занесены ветром или птицами. Растения расположены ленточно по периметру углублений, в которых после дождей скапливается вода. На террасе тамарикс так же предпочитает пониженные участки (рис. 1.7, 1.8). В данном случае, лимитирующим фактором для прорастания тамарикса является наличие воды, поскольку на ближайших участках как распаханной поверхности останца, так и на возвышенных участках дна всходов и взрослых растений не отмечено. На грунтовом суглинистом склоне котлована тамарикс не встречается, поскольку его развитию мешает активная эрозия и отсутствие воды в большую часть года, на естественном склоне коренного берега (отмершем клифе) распространение тамарикса ограничивает плотная луговая растительность. На прибрежных дюнах непосредственно напротив котлована тамарикс встречается крайне редко. По-видимому, на распространение тамариксов оказывают влияние два основных фактора: близость относительно пресной воды и степень зарастания территории, для дюн лимитирующими являются те же факторы.

Помимо данного исследования были выполнены работы по определению влияния геологического строения абразионного берега и протекающих там экзогенных процессов на состав и распределение растительности на клифе (Крыленко С.В., 2017-1).

1.3.7 Аэрофотосъемка с беспилотного аппарата

В течение 2017 г. впервые была произведена съемка некоторых ключевых участков Анапской пересыпи с помощью съемочной аппаратуры, установленной на беспилотном летательном аппарате. Целью съемки была отработка методики оперативного получения данных по современному состоянию рельефа, отложений, растительного покрова и других компонентов геосистемы пересыпи. В ходе этой работы было выполнено 5 полетов (рис. 1.10). Полеты выполнялись на высотах 100, 150 или 200 м. Производилась как плановая, так и панорамная фотосъемка. На одном из маршрутов была произведена видеосъемка.



Рис. 1.10 – Маршруты съемки с БПЛА

1.4 ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ В 2017 г.

1.4.1 Обработка и анализ данных дистанционного зондирования

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

В 2017 году впервые для анализа состояния и динамики рельефа Анапской пересыпи была применена технология аэрофотосъемки с последующей фотограмметрической обработкой полученных высокодетальных цифровых снимков. Аэрофотосъемка с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является наиболее простым способом получения малоплощадной технико-информационной съемки, имеющей целью получения ортофотопланов местности и построение цифровых моделей рельефа (ЦМР). Современные мультикоптеры (квадрокоптеры, гексакоптеры, октокоптеры) обладают сложными современными системами стабилизации, благодаря которым можно удерживать летающий аппарат в точке с погрешностью 0,5 м по высоте, и 1 м по горизонтали. Они способны на автономные полеты по заранее заданным координатам, могут выполнять автоматический возврат на точку старта и автопосадку по команде, в случае потери сигнала управления или в других нештатных ситуациях. Если требуется провести аэрофотосъемку обширного по ширине участка, то фотографирование заданной площади производят серией параллельных маршрутов, имеющих поперечное перекрытие (рис. 1.11). При такой фотосъемке стандартное значение перекрытия обычно составляет 30%. Из-за подвижности основания при аэрофотосъемке в каждый момент фотографирования центр проектирования объектива и плоскость аэроснимка занимают произвольное положение, поэтому при производстве аэрофотосъемки используются системы GPS и ГЛОНАСС для привязки реперов. Помимо плановой аэрофотосъемки, может быть выполнена перспективная аэрофотосъемка (под наклоном оптической оси), позволяющая более эффективно распознавать объекты местности и анализировать их пространственное взаимное положение.

Программное обеспечение Agisoft PhotoScan позволяет автоматически создавать высококачественные 3D модели объектов на основе цифровых фотографий. На первом этапе обработки производится определение положений и параметров внешнего и внутреннего ориентирования камер. На этой стадии PhotoScan находит общие точки фотографий («связывающие точки») и по ним определяет все параметры камер: положение (рис. 1.12а), ориентацию, внутреннюю геометрию (фокусное расстояние, параметры дисторсии и т.п.). Далее производится построение плотного облака точек (точек фотограмметрической обработки – ТФО) на основании рассчитанных положений камер и используемых фотографий (рис. 1.12б). Это поле точек подобно (кроме некоторых параметров) облакам точек лазерного отражения (ТЛО), и на основе его может строиться цифровая модель поверхности и (после классификации точек «земля») – ЦМР. На базе плотного поля точек строится полигональная модель рельефа (рис. 1.12в), используемая при создании текстурированной модели (рис. 1.12г) и ортофотоплана.

В 2017 г. были отсняты несколько тестовых участков берега, и проведена предварительная обработка полученных материалов. 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»).



Рис. 1.11 – Схема расположения камер при плановой аэрофотосъемке берега

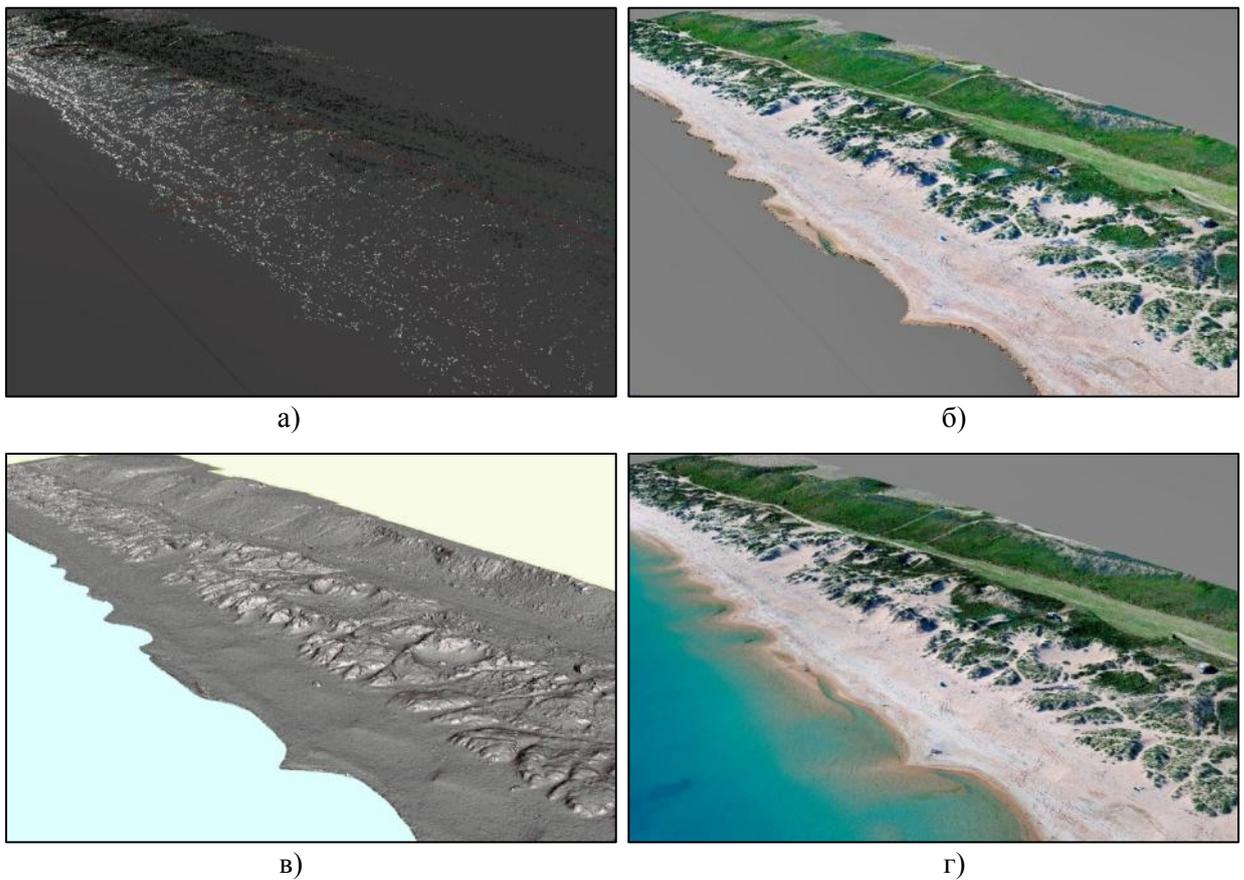


Рис. 1.12 – Стадии фотограмметрической обработки цифровых аэрофотоснимков:
а) – выравнивание камер и создание связующих точек; б) – создание плотного поля точек с раскраской в естественные цвета; в) – создание модели рельефа; г) – создание текстурированной модели рельефа с окраской в естественные цвета

С использованием материалов съемки, выполненной с БПЛА, в 2017 г. удалось проследить последствия антропогенного воздействия на пляжи (рис. 1.13) и дюнный пояс (рис. 1.14). Эта информация позволит точнее дешифровать космические снимки, а также анализировать причины и последствия, наблюдаемых за продолжительные сроки изменений рельефа.



Рис. 1.13 – Нарушение рельефа пляжа и дюн при подготовке к курортному сезону

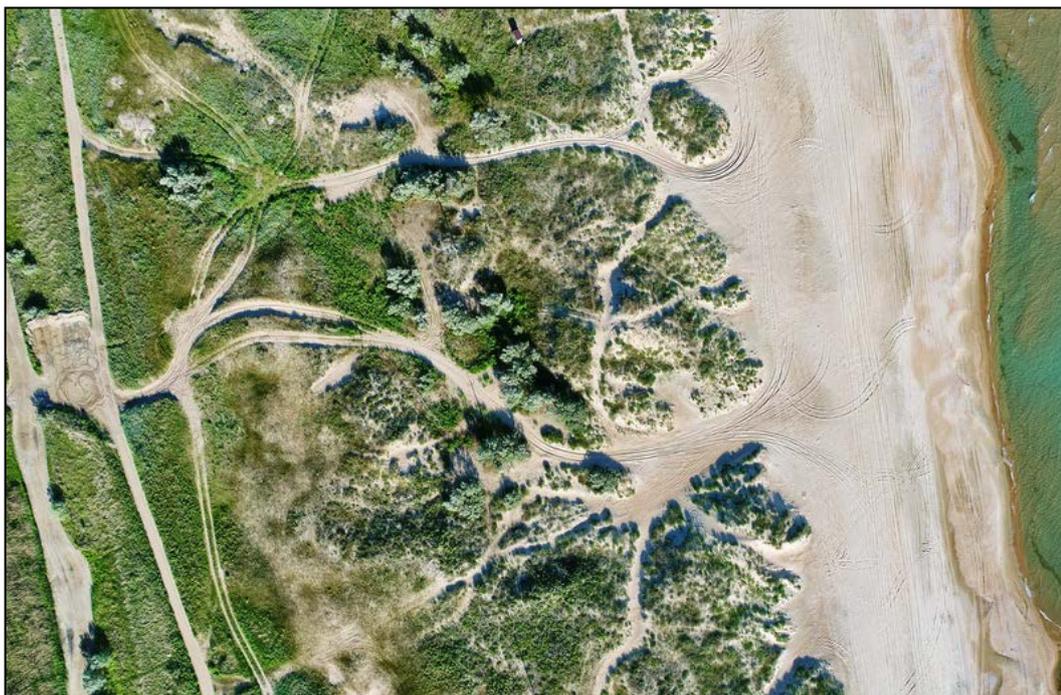


Рис. 1.14 – Нарушение рельефа и растительного покрова дюн при бесконтрольном перемещении автотранспорта

Кроме того, прослежены стадии приращения прибрежного подводного вала к берегу (рис. 1.15). Ранее вынос песка, накопленного в теле подводного вала, в приурезовую зону и далее на пляж в пределах Анапской пересыпи инструментально не фиксировался.

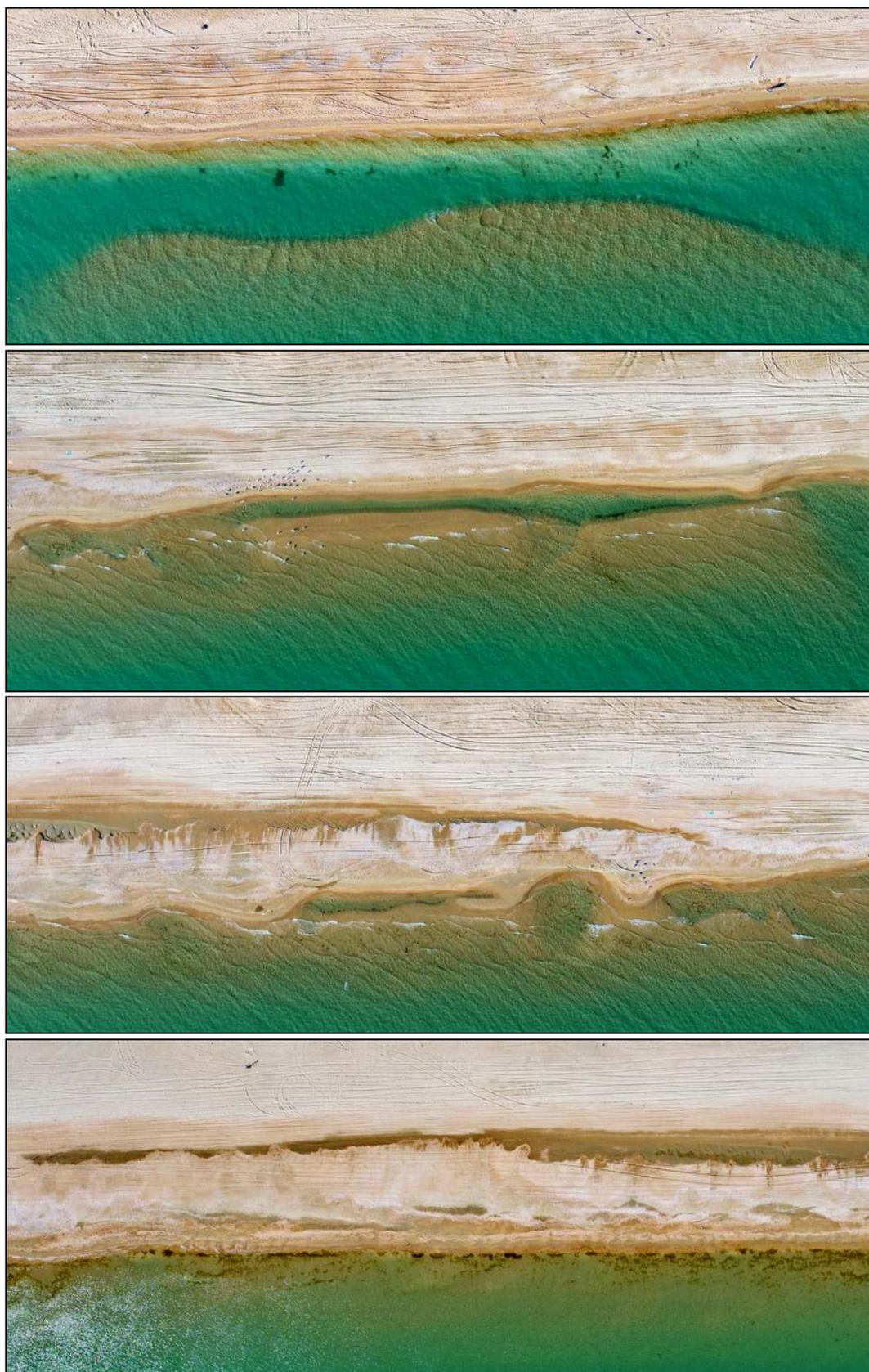


Рис. 1.15 – Процесс приращения к берегу подводного вала

1.4.2 Обработка проб и анализ механического состава наносов

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 ситовый набор СЛМ-200. Выделялись следующие фракции (в мм): <0.04; 0.04-0.05; 0.05-0.063; 0.063-0.08; 0.08-0.1; 0.1-0.125; 0.125-0.16; 0.16-0.2; 0.2-0.25; 0.25-0.315; 0.315-0.4; 0.4-0.5; 0.5-0.63; 0.63-0.8; 0.8-1.0; 1.0-1.25; 1.25-1.6; 1.6-3.0; 3.0-4.0; 4.0-5.0; 5.0-7.5; 7.5-9.5; >9.5.

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.

Предварительный 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. На рис. 1.16 видно, что на участке профилей 7-12 (где имеются выраженные дюны высотой от 4 до 15 м) крупные фракции (ракушечный детрит) в пробах практически отсутствуют. На участке 20-25 профили (тут высота дюн не превышает 3 м) хорошо заметно наличие детрита, выносимого ветром на дюны.

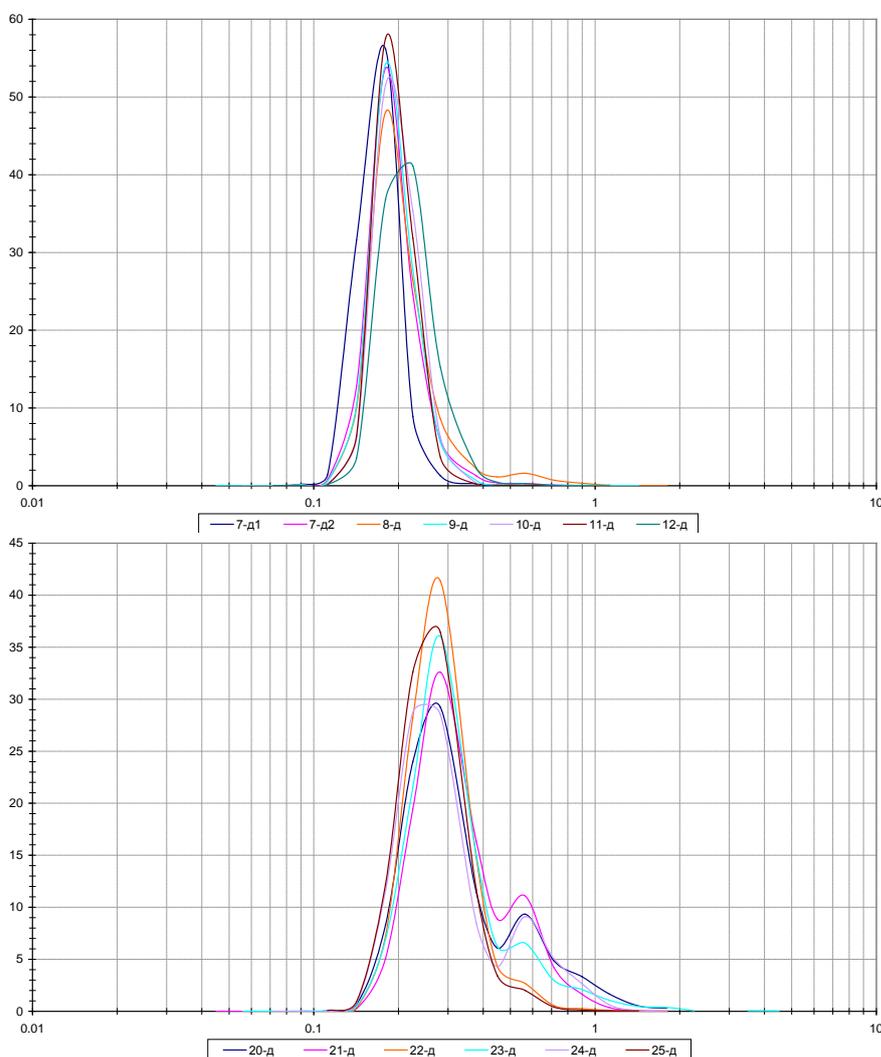


Рис. 1.16 – Вдольбереговые различия дюнных отложений (нумерация профилей от Анапы)

На рисунке 1.17 представлено поперечнобереговое распределение грансостава. На профиле 1 (южный край Анапской пересыпи) механический состав отложений подводного склона, подводного вала, пляжа и дюн очень схож (только на глубине 7 м присутствуют более мелкие фракции, а на пляже – более крупные). К 8 профилю размер прибрежных и сухопутных проб увеличивается (но их состав остается схожим). Западнее повсеместно прослеживается «родство» пляжевых и дюнных отложений, а наносы подводного вала занимают промежуточное положение между сухопутными и глубоководными.

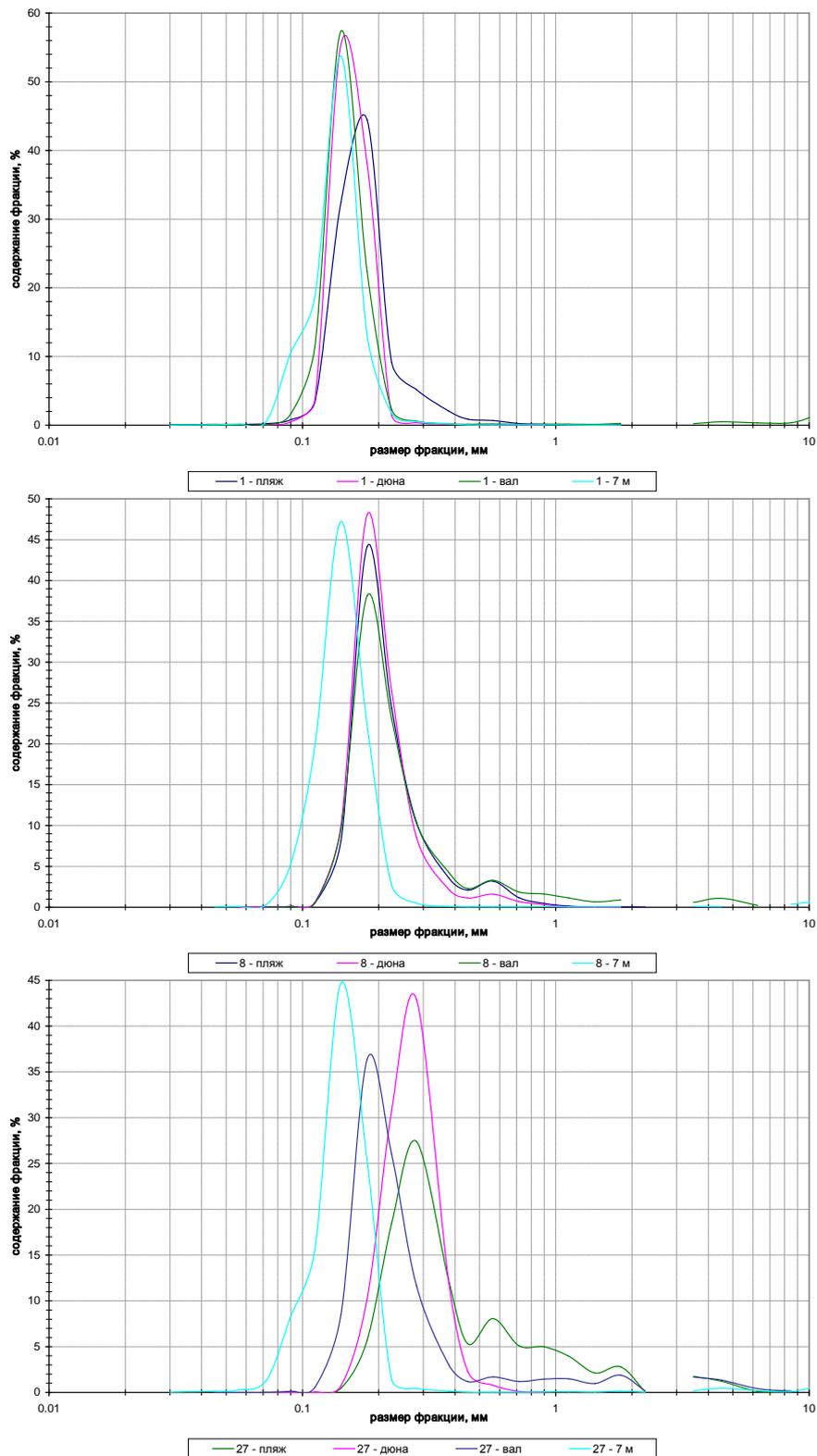


Рис. 1.17 – Поперечнобереговые различия отложений

1.4.3 Анализ изменчивости рельефа подводного склона

По данным батиметрической съемки за 2015-2017 гг. построены поперечнобереговые профили (рис. 1.18). 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.). На более глубоких валах в течение 2016 г. изменений практически не произошло. В целом, изменение структуры подводных валов в 2015-2016 гг. значительно меньшее, чем в 2016-2017 гг. В 2017 г. отмечено значительное изменение как поперечного профиля подводных валов, так и изменение их планового положения (Fedorova, 2016; Федорова, 2017).

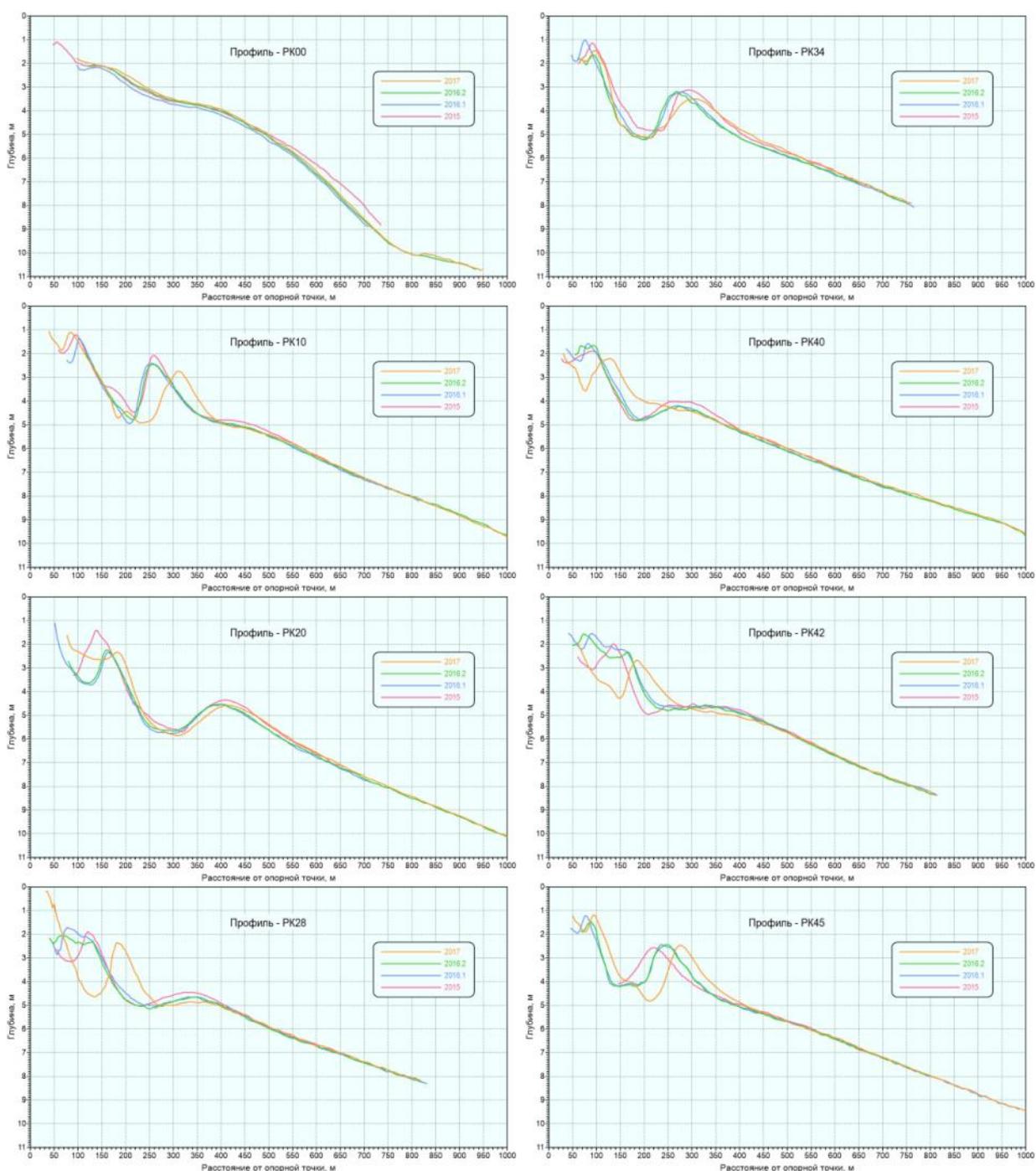


Рис. 1.18 – Поперечнобереговые профили подводного склона Анапской пересыпи

Часть 2
**ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ,
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО, ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО И
ЛИТОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА АККУМУЛЯТИВНЫХ БЕРЕГОВ
КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА**

2.1 ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ АККУМУЛЯТИВНЫХ БЕРЕГОВ КРЫМА

Начало изучения аккумулятивных берегов Крымского полуострова можно отнести к концу XIX века, когда в целях проектирования русских коммерческих портов были проведены изыскательские работы в Евпатории, а также в Узкой, Ярылгачской и Караджинской бухтах (северо-западное побережье) (Руммель, 1889). Масштабными для того времени работами руководил инженер В.Ю. Руммель. Для Евпатории был проанализирован гидрометеорологический режим за период 1886 – 1894 гг., проведены наблюдения за уровнем моря. Были пробурены до скального основания на берегу и морском дне 35 скважин. Было установлено – грунт Евпаторийской бухты представляет собой песок с ракушкой, под которым залегает ил, глубже известняк. Проведенный промер и его сравнение с данными 1836 г. показали, что изменений в глубинах за 60 лет практически не произошло. Было отмечено – при восточных ветрах песчаные наносы движутся к западу, при юго-западных – в обратную сторону. Наблюдения за течениями показали, что они более или менее совпадают с направлением ветра. Полученные данные и сделанные выводы не потеряли своего значения до настоящего времени.

В связи с проектом улучшения Евпаторийского порта, предусматривавшим устройство волноломов и углубление портовой акватории, летом 1925 г. были предприняты исследования движения наносов в этом районе. Суть исследований состояла в составлении карты грунтов с введением гидравлической классификации их, определение гидрологических элементов и особенно течений. Центральным гидрометеорологическим бюро были опубликованы статьи руководителя работ профессора В.Г. Глушкова и инженера М.Н. Карбасникова, подводящие итог этим исследованиям (Глушков, 1926; Карбасников, 1927). Высказаны ценные мысли по взаиморасположению районов аккумуляции, раздела и транзита донных наносов. Делался вывод, что общего обмеления бухты за последние десятилетия не происходило, но наносы на ее берегу находятся в постоянной миграции ограниченного масштаба. Было показано, что пески к северо-западу от м. Евпаторийский прослеживаются только в узкой прибойной зоне, глубже дно сложено плитой известняка. В (Карбасников, 1927) подробно анализировался гранулометрический состав донных пород и выделялись их типы. Приведена карта распространения донных пород. Особая ценность работы заключается в подробном описании береговой зоны Евпатории и прилегающих территорий, что дает материал для сравнения в историческом плане. Позже В.Г. Глушков высказал мнение о наличии крупных горизонтальных циркуляций, находящих своё отражение, как в рельефе дна, так и в очертаниях берега (Глушков, 1934). Он указывал, что поле волн, деформируемых и разбивающихся у ровного берега, имеет поперечную неоднородность. Узлам усиления волн, названным «фокусами прибоя», на аккумулятивных берегах соответствуют пологие выступы, поскольку подача наносов со дна здесь преобладает над их уходом (Глушков, 1934). Впоследствии эти выводы были подтверждены в (Айбулатов, 1957). Что касается поля течений, то В.Ю. Визе проанализировал данные, полученные с помощью вертушки Экмана (Визе, 1927). Несовершенство прибора и методики проведения измерений (однократное измерение течений на станциях в маловетренную погоду на «рейдовых выездах» с катера, стоявшего на якорю) вызывает некоторые сомнения в достоверности полученных результатах, о чем, впрочем, говорит и сам автор, который высказывает предположение, что в целом на течения в Евпаторийской бухте влияет, главным образом, ветер, вместе с тем существует и стационарное течение циклонической завихренности, связанное с течением открытого моря.

Скорости потоков в большинстве случаев были до 10 см/с, но в отдельные моменты фиксировались скорости 20 – 30 см/с (в максимуме до 35 см/с). Позже в (Антонов, 1929) были проанализированы измерения течений, сделанные в 1911 г. по наблюдениям за сносом шлюпки при промерных работах. Делалось предположение, что в Каламитском заливе (автор называет его Евпаторийским) существует постоянное северо-восточное течение, являющимся продолжением нижнебосфорского течения, что с позиции современной науки выглядит нонсенсом. В этот же период в работах А.И. Дзенс-Литовского даны описания характера побережий и береговых аккумулятивных форм (пересыпей лиманов и лагун) Западного Крыма (Дзенс-Литовский, 1933).

Сразу после Великой Отечественной войны, уже в 1945 г., несмотря на сложное экономическое положение в стране, была организована первая Черноморская береговая экспедиция Института океанологии АН СССР под руководством В.П. Зенковича. Был обследован берег от м. Евпаторийского до Бакальской косы. Исследования были направлены на создание кадастра берегов Чёрного моря (Зенкович, 1954). В результате исследования берега на участке г. Евпатория – оз. Донузлав впервые изучена структура аккумулятивного берега, получающего питание наносами со дна. Получены критические величины уклонов дна, при которых совершается переход от аккумулятивного берега в абразионный. В 1949 г. выполнены подробные промерные галсы вдоль всего Западного Крыма с отбором проб донного материала. Были проведены геоморфологические исследования и сделаны морские разрезы со сбором проб донных и береговых наносов в Ярылгачской бухте, позволившие наметить фазы её развития (Лонгинов, 1955; Лонгинов, 1963). В Каркинитском заливе проводились водолазные работы для изучения морфологии и осадков подводного склона, что позволило описать строение Бакальской косы, высказать соображения о её происхождении и дальнейшей эволюции (Зенкович, 1955).

Собранный Черноморской береговой экспедицией материал был опубликован в отдельных статьях (Зенкович, 1947; Зенкович, 1948; Зенкович, 1958б) и обобщён в работах В.П. Зенковича, которые стали классическими и не утратили своего значения и в настоящее время (Зенкович, 1958а; Зенкович, 1960). В них рассмотрена эволюция аккумулятивных форм прибрежного рельефа, дана общая схема вдольбереговых потоков и поперечных миграций наносов. На участке Евпатория – мыс Лукулл установлено явление вращения «абразионно-аккумулятивных пар», происходящих в тех случаях, «...когда на побережье, подводный склон которого достиг профиля равновесия или является отмелым, один участок интенсивно абрадируется, а смежный с ним в сторону перемещения наносов является аккумулятивным». В середине 50-х гг. XX века Е.Н. Невесский использовал вибропоршневую трубку для изучения наносов Бакальской банки, что позволило подтвердить теоретическую схему развития банки (Невесский, 1957).

В 60-х гг. наибольшее внимание в работах уделяется Южному берегу Крыма, как наиболее развивающемуся региону. Однако и в это время выходят работы, посвященные аккумулятивным берегам. Так О.С. Братусь (Романюк), исследовав вещественный состав песчаных пляжей Крыма, разделяет их на пять видов: карбонатно-кварцевые, кварцево-известняковые, кварцево-ракушечные, железисто-ракушечные и ракушечные и делает вывод, что последний тип наиболее характерен для аккумулятивных берегов (Братусь, 1965а). В (Братусь, 1965б) ею был рассмотрен механический состав песчаных отложений, выделены их типы и на этом основании сделано предположение о характере вдольбереговых потоков наносов. В своей диссертации она исследовала вещественный и гранулометрический состав пляжей, рассмотрела вопрос об их происхождении и представила карты распространения аккумулятивных пляжей (Романюк, 1968).

Необходимо отметить выполненные в этот период (1967 – 1968 гг.) наблюдения Ю.С. Долотова и др. на крупной аккумулятивной форме пересыпи озера Донузлав и сопредельных прибрежно-морских террасах, которые производились в течение 6 сезонов года. Исследовался подводный склон до глубин 6-7 м на ажурной эстакаде, выдвинутой в море до глубины 6,5 м. Исследования показали, что с увеличением размеров волн росла и

мощность слоя волновой переработки (до 1,5-2,0 м). Вертикальные деформации поверхности подводного склона по всей его ширине достигали 1,5 м. Делался вывод, что за последние сто лет береговая линия Донузлавской пересыпи медленно отступала со скоростью до 0,2 м/год (Долотов и др., 1971).

В (Мамыкина, Хрусталева, 1980) подробно описаны азовские берега Крыма, включая пляжи, клифы, подводный склон и др., показано, что пляжи Арабатской стрелки на Азовском море сложены в основном ракушечным материалом.

Картографирование берегов Крыма, выполненное Ю.Д. Шуйским, позволило разграничить аккумулятивные и абразионные типы, было подсчитано, что на долю первых приходится около 46 %. (Шуйский, 2001). Первая обобщающая сводка об изменчивости береговой линии Крыма, включая аккумулятивные берега, содержится в (Шуйский, 1974), где рассматриваются данные наблюдений до начала 70-х гг. прошлого столетия и приводится соответствующая карта. Там же опубликована и полная библиография работ, посвященных этому вопросу. Спустя 30 лет была опубликована новая карта (Шуйский, Выхованец, 2004), где приведены средние значения абразии и аккумуляции за 1960 – 2004 гг., которые, впрочем, практически не отличаются от предыдущих. В обеих работах не приводится подробный анализ исходных материалов, это снижает ценность обобщения. Известно только, что они получены контактными измерениями на створах, однако статистика рядов не приводится. Представляется, что скорости изменений получены в ряде случаев по разовым измерениям. Учитывая значительную межгодовую и сезонную изменчивость положения береговой линии, характерную для аккумулятивных берегов Западного Крыма, определение среднегодовых скоростей может давать существенную ошибку. И действительно, в ряде случаев эти карты содержат явно завышенные скорости размыва (например, м. Евпаторийский, район Николаевки и др.). С появлением спутниковых данных появился новый инструмент получения информации об изменении очертаний береговой линии. Применительно к аккумулятивным берегам Крыма анализ спутниковых снимков сделан в (Горячкин, Харитонов, 2010; Горячкин, Долотов, 2011; Станичная и др., 2016), где приводятся величины изменений береговой линии, полученные из совместного анализа старинных географических карт, советской и германской аэрофотосъемки, спутниковых и контактных данных.

Эоловые процессы на береговых аккумулятивных формах Западного Крыма были рассмотрены в (Шуйский, Карасев, 1983). Показана важность учета этих процессов на песчаных берегах при анализе динамики береговой зоны. Позже, полученные выводы были обобщены в (Выхованец, 2003). Основные черты морфологии и динамики аккумулятивных форм Западного Крыма рассмотрены в обстоятельной работе Ю.Д. Шуйского (Шуйский, 2005). Им же проанализирован механический состав пляжевых наносов на западных берегах Крымского полуострова (Шуйский, 2007). Необходимо отметить и работу, посвященную основным закономерностям распределения наносов на подводном склоне Донузлавской пересыпи (Шуйский, 2002).

Ухудшение состояния пляжей и в целом береговой зоны Западного Крыма в конце XX – начале XXI века вызвало повышенный интерес к их изучению. Как результат, выходят работы, в которых анализируется антропогенная нагрузка, рассматриваются причины деградации пляжей (Горячкин, 2010; Горячкин, Иванов, 2010; Агаркова, 1999; Агаркова-Лях, 2007; Агаркова-Лях, 2014). Большое внимание уделяется изучению воздействия природных факторов на береговую зону. Так в (Горячкин, 2011; Горячкин, 2012) исследуется влияние уровня моря, в (Горячкин, Фомин, 2010; Горячкин, 2009) на основе инструментальных наблюдений приводятся характеристики придонных и волновых течений Каламитского залива. С использованием современного массива данных о ветровых условиях уточнена схема вдольбереговых потоков наносов в Каламитском заливе, исследована их межгодовая и сезонная изменчивость (Горячкин, Удовик, 2015).

Характерной чертой публикаций последних лет является попытка использовать современные математические модели для изучения динамики наносов в различных

районах (Алексеев и др., 2009; Горячкин и др., 2015; Горячкин и др., 2013). Полученные при этом результаты (оценки направления и объема перемещения донных наносов при различных гидрометеорологических ситуациях) широко используются для практических нужд. Новая типизация берегов Крыма и подсчет соотношения протяженности берегов различных типов сделаны в (Игнатов и др., 2015; Игнатов и др., 2016).

Особо отметим работы, касающиеся проблематики изменений Бакальской косы – единственного в своем роде (причлененное аккумулятивное тело) в Крыму природного объекта, расположенного в Каркинитском заливе. Наличие здесь двух природных заповедников: в море – «Малое филофорное поле» (ботанический заказник федерального значения) и на суше – региональный ландшафтный парк «Бакальская коса» вызывало в последние годы повышенный интерес к их изучению. Деградация косы и превращение её дистальной части в остров в последние годы стало одной из важнейших тем научных публикаций (Клюкин, 2005; Горячкин, 2008; Горячкин, Иванов, 2013; Горячкин и др., 2010; Иванов и др., 2012). 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.

В заключении отметим вышедшую относительно недавно альбом-монографию «Современное состояние береговой зоны Крыма», в которой значительное место уделено аккумулятивным берегам Крыма, их строению, динамике и проблемам (Современное состояние береговой зоны Крыма, 2015).

2.2 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АККУМУЛЯТИВНЫХ БЕРЕГОВ КРЫМА

2.2.1 Основные типы и протяженность аккумулятивных берегов Крыма

Генетически аккумулятивный берег образуется в результате накопления прибрежно-морских наносов выше уровня моря. Как правило, все аккумулятивные берега подвижны и меняют свою конфигурацию со временем. Морфологически их можно подразделить на примкнувшие: пляжи, надводные террасы, наволоки; свободные: косы простые и стрелки, окаймляющие выдвинутые от коренного берега и заключающие лагунное озеро; петлевидные и двойные косы; замыкающие, соединенные с берегом двумя концами: пересыпи и переиры; отчлененные: береговые бары и аккумулятивные острова.

Выровненные аккумулятивные берега образуются при затоплении аккумулятивной прибрежной равнины с большими запасами обломочного материала на дне. При этом образуется бар, который причленяется к выступам берега, обуславливая выравнивание внешнего контура. Внутренний контур может ещё долгое время оставаться изрезанным. В Крыму (рис. 2.1) наиболее яркие примеры таких берегов – это Арабатская стрелка, Евпаторийское побережье (от оз. Донузлав до оз. Кызыл-Яр). В меньшей мере это касается Казантипского залива.

Современные тектонические движения (опускание суши) и рост уровня Черного моря приводит к возникновению лагунных (отделение мелководных частей моря барами) и лиманных (затопление морем низовий речных долин и балок) берегов. Примером первых является берег в районе Сиваша, вторых – западное побережье и Керченский п-ов.

В соответствии с современными геоморфологическими процессами, можно выделить следующие основные типы аккумулятивных берегах Крыма: аккумулятивные стабильные; аккумулятивные отступающие; аккумулятивные с ветровой осушкой, причлененное аккумулятивное тело (Бакальская коса), аккумулятивные острова. Необходимо отметить, что аккумулятивные берега часто образуют со смежными абразионными берегами абразионно-аккумулятивные пары, которые тесно взаимодействуют между собой. При этом абразионные берега являются основным поставщиком материала для аккумулятивных, поэтому с точки зрения прогноза эволюции последних необходимо рассматривать в целом состояние береговых систем, как минимум, в пределах литодинамических ячеек.

На рис. 2.1 приведена карта-схема типов берегов Крыма (Руммель, 1889). Из неё видно, что наибольшие ареалы аккумулятивных берегов Крыма расположены в западной и восточных его частях. На значительном протяжении от Севастополя до Феодосии (Южный берег Крыма) аккумулятивных берегов, за исключением небольших сохранившихся естественных карманных пляжей, нет.

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. Особняком стоит причлененное аккумулятивное тело, представленное Бакальской косой, протяженность которой ещё недавно составляла около 20 км. В последние годы отделение дистальной части косы образовало аккумулятивный остров, протяженность береговой черты которой постоянно меняется, а на 2017 г. составляет около 3 км, а площадь около 0,34 км². На сегодняшний день это второй по площади остров в Черном море (после о. Джарылгач). В этом же районе расположены аккумулятивные Лебяжьих острова.

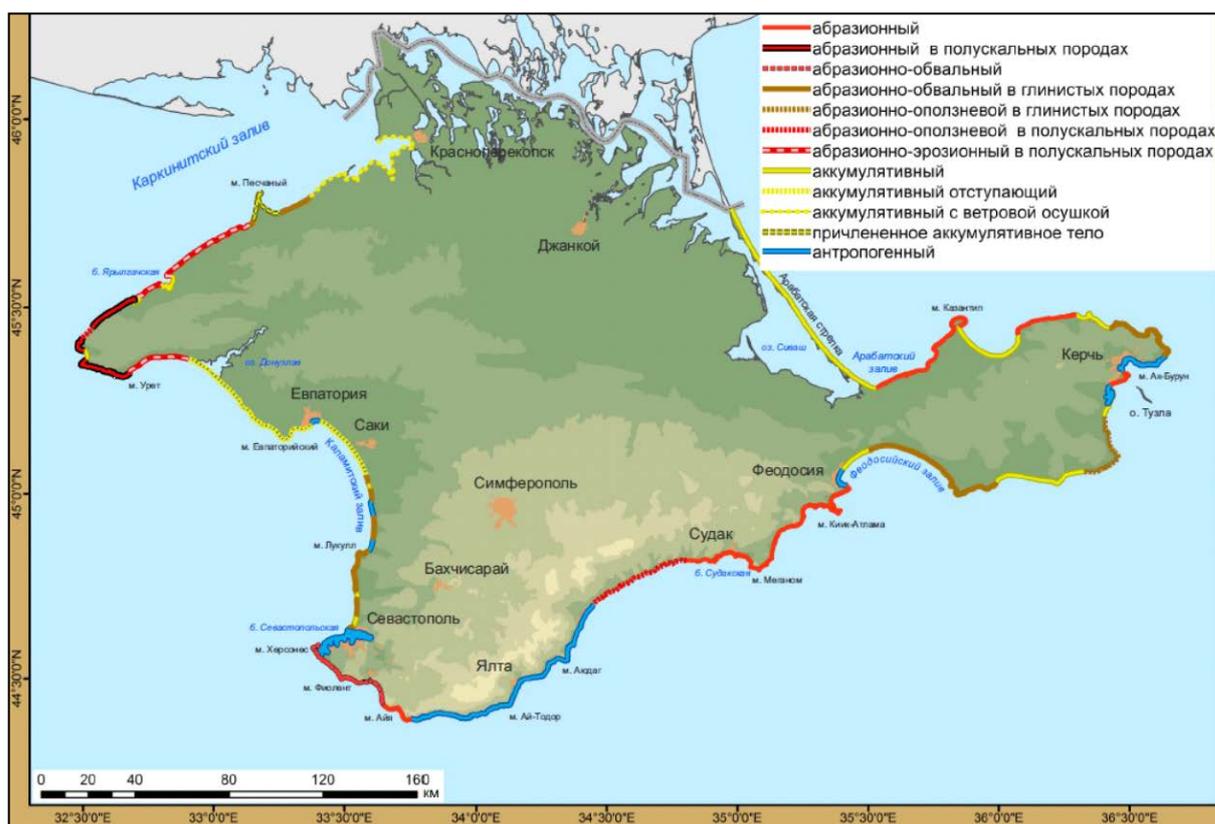


Рис. 2.1 – Основные типы берегов Крыма (Руммель, 1889)

2.2.2 Механический состав пляжевых отложений

Пляжевые отложения на аккумулятивных берегах Крыма характеризуются весьма незначительным содержанием глинистой фракции. Количество пелитовой и алевроитовой разностей, как правило, не превышает 1 %, а иногда полностью отсутствует. Исключение составляет пляж у с. Портового (северо-западное побережье), где содержание частиц 0,1 мм достигает 4,5%, что объясняется наличием здесь тонкостенной ракушки, легко измельчающейся под действием волн. Грубозернистые и крупнозернистые пески, характерны, в основном, для ракушечных пляжей, а среднезернистые и мелкозернистые – для пляжей, сложенных измельченной горной породой.

На пляжах, сложенных тонкостенной измельченной ракушей, у уреза находится наиболее мелкий материал, а вверх по профилю – более крупный. На пляжах, сложенных измельченной толстостенной ракушей, наоборот, у уреза песок крупнее, чем выше по профилю. На песчаных пляжах, сложенных обломками горных пород, распределение осадков по крупности такое же, как при толстостенной ракуше, т.е. у уреза отложения крупнее, чем вверх по профилю. Такое распределение материала по крупности объясняется различной скоростью выпадения частиц из взвешенного состояния, зависящей от их веса и формы.

При формировании обломочного материала за счет абразии на однородном в литологическом отношении побережье при одинаковых волновых условиях на нем отложения имеют одинаковую степень крупности на большом протяжении (например, участок на Тарханкутском полуострове к западу от Бакальской косы). При наличии вдольберегового перемещения наносов наблюдается постепенное уменьшение крупности отложений от вершины потока к его концу, как, например, на участке от Северной стороны г. Севастополя до устья р. Альмы, на Арабатской стрелке и вдоль побережья Феодосийского залива.

подавляющая часть пляжных отложений Крыма имеет средний медианный диаметр около 0,5 мм. Экстремальные его величины: максимальная 1,7 мм, минимальная 0,19 мм. Наиболее характерный для Крымских пляжей коэффициент сортировки равен 1,41 (15%), а средний по всему полуострову (по 54 определениям) равен 1,44. При этом кварцевые пляжи (более 50% кварца) отсортированы значительно хуже остальных - средний коэффициент сортировки для них равен 1,63. При сравнении сортировки осадков одной и той же зернистости, а именно 0,5 мм (0,49-0,51), получено очень близкие ее значения: от 1,1 до 1,3, что говорит об их отложении в одинаковых условиях.

Основная часть наносов крымских пляжей представляет собой хорошо отсортированный материал, образовавшийся в зоне действия волнового поля, со средним медианным диаметром около 0,5 мм. Более крупные фракции от 0,5 до 2,0 мм преобладают в случаях подхода к берегу неогеновых известняков при условии значительных волнений: (Тарханкут, Опук), при значительном содержании толстостенной ракуши на юге Керченского п-ова, где обитали в недавнем прошлом колонии устриц, а также на аккумулятивных формах Азовского моря, где ракуша хотя и тонкостенная, но почти полностью создаёт аккумулятивные формы и не успевает сильно измельчаться. Материал мельче среднего значения отмечается у абразионных берегов, сложенных породами глинистого ряда: западнее Бакальской косы, у с. Витино, восточная часть Феодосийского залива, с. Каменское. Значительно меньшее распространение имеют пляжи, отложения которых состоят из многих (по крупности) фракций. Они находятся на пляжах комплексного питания, в основании потоков вдольбереговых наносов и в удаленной от уреза воды части пляжа. Весьма ограниченное распространение в Крыму имеют пляжи, где основная часть материала имеет одинаковую крупность, что говорит о резком преобладании одного наносообразующего фактора. Такие пляжи располагаются на некоторых пересыпях озер (Донузлав, Ярылгачская бухта), в волновой тени кос (Бакальская бухта, к востоку от Бакальской косы), а также возникают под воздействием временных воздействий гидрометеорологических условий.

2.2.3 Вещественный состав пляжевых отложений

Песчаные и песчано-гравийные пляжи распространены на всем побережье Крыма, за исключением Южного берега, где кроме преимущественно антропогенных берегов, кое-где сохранились валунно-галечные пляжи. Песчаные пляжи Крыма по вещественному составу можно подразделить на пять типов: карбонатно-кварцевые, кварцево-известняковые, кварцево-ракушечные, железисто-ракушечные и ракушечные (рис. 2.2).

Ракушечные пляжи по протяженности занимают ведущее место на Крымском полуострове и встречаются в различных географических районах побережья.

Первый участок находится на севере Тарханкутского п-ова, между Бакальской косой на западе и с. Портовым на востоке. Сложен пляж целой (с. Стерегущее) или битой (с. Портовое) тонкостенной морской ракушей. Содержание кварца очень незначительное, порядка 3,4-2,8%. Минералы тяжелой фракции содержатся в количестве нескольких зерен (10 зерен на 50 г пробы) и представлены магнетитом, ильменитом, лейкоксеном, эпидотом, сфеном и шпинелью.

Второй участок расположен в районе г. Евпатории. Отложения представлены главным образом битой тонкостенной ракушей. Содержание кварца не превышает 6%, тяжелые минералы представлены несколькими зернами ильменита, лейкоксена, моноклинного пироксена.

Третий участок находится в районе Феодосийского залива. Коренные берега Феодосийского залива сложены майкопскими глинами. Пляж сложен, в основном, измельченной и целой толстостенной ракушей. Вероятнее всего, пляж сформирован привнесенным извне материалом, что указывает на вдольбереговое перемещение наносов со стороны Керченского п-ова. Можно полагать, что источником ракушечного материала послужила известная в юго-западной части Керченского пролива устричная банка. Содержание кварца колеблется от 5 до 7%, минералов тяжелой фракции от 16,06 до 4,6% в направлении от восточной части залива к западной. Они представлены преимущественно гидрогетитом и лимонитом, источником которых является абрадируемый берег Керченского п-ова, а также ильменитом, лейкоксеном и эпидотом.

Четвертый участок находится на Арабатской стрелке, которая почти полностью сложена тонкостенной ракушей. Пляжные отложения представлены битой тонкостенной ракушей. Содержание кварца в отложениях сокращается от дистального конца стрелки и ее основания к центральной части от 13-16 до 1%. Количество минералов тяжелой фракции колеблется от 5% у основания до единичных зерен уже к 30 км. Преобладают гидрогетит, лимонит, ильменит, лейкоксен, шпинель. Такое распространение кварца может быть объяснено тем, что он поступает с двух сторон: со стороны северного побережья Азовского моря и северного побережья Керченского п-ова.



Рис. 2.2 – Типы вещественного состава пляжей Крыма

Песчаные пляжи Крымского полуострова имеют местное питание за счет абразии берегов и бенча, речного аллювия и транспортировки рыхлого материала вдоль побережья Арабатской стрелки с севера и юга, южного берега Керченского полуострова в западном направлении, Гераклеийского полуострова, Западного Крыма и Тарханкутского полуострова в северном направлении. Отложения представлены в основном карбонатным материалом с различным содержанием кварца (от 1 до 70%) и малым содержанием минералов тяжелой фракции (от единичных зерен до 16%), кроме некоторых участков Керченского пролива (до 42% гидрогетита).

Карбонатно-кварцевые пляжи распространены в юго-западной части полуострова от Севастополя на юге до Сасыкской пересыпи на севере. На этом участке существует вдольбереговое перемещение наносов в северном направлении от Севастопольской бухты к г. Евпатории. Источником кварца и кремния является Учкучевский пляж (на Северной стороне Севастополя) и разрушающаяся часть берега, сложенная суглинками киммерий-куяльника с прослоями галечника. С юга на север отмечается уменьшение кварцевой составляющей в отложениях от 60 до 47%. Ее повышенное содержание (70%) отмечается на пляже с. Песчаного, так как последний находится к северу от м. Лукулл, сложенного конгломератом. Район характеризуется очень малым количеством минералов тяжелой фракции (от 1 зерна до десятых долей процента). Исключение составляет участок в устье р. Качи, где тяжелая фракция достигает 1%. Из минералов тяжелой фракции нами отмечены такие, как ильменит, лейкоксен, эпидот, гранат, магнетит. На Сасыкской пересыпи сохраняются в отложениях наиболее устойчивые к процессам переноса минералы: гранат, магнетит, ильменит.

Вторым районом, где расположены карбонатно-кварцевые пляжи, являются окрестности г. Судака и пос. Планерского. Карбонатные породы составляют здесь около 50%. Остальная часть легкой фракции представлена кварцем, опалом, халцедоном, плагиоклазом. Содержание минералов тяжелой фракции в песках района Судак — Планерское колеблется от 3 до 12%. Преобладающим минералом является гидрогетит, в незначительном количестве встречается ильменит, эпидот, шпинель, гранат. Минералы легкой фракции в основном имеют местное происхождение за счет разрушения пород Карадагской группы, а гидрогетит, очевидно, привнесен с Керченского полуострова в районе Планерского и образуется за счет разрушения конгломератов у м. Меганом в районе г. Судака.

Кварцево-известняковые пляжи распространены на Тарханкутском полуострове, где коренной берег сложен неогеновыми известняками. Отложения представлены в основном легкой фракцией. Содержание кварца колеблется от 4 до 18%. Подавляющая часть отложений представлена известняковым песком и в меньшем количестве мелкими обломками ракуши. Минералы тяжелой фракции присутствуют в количестве нескольких зерен магнетита, ильменита, моноклинных пироксенов. Основная часть материала имеет местное формирование.

Кварцево-ракушечные пляжи распространены на Керченском полуострове, в его северной части, в районе Казантипского залива. Основную массу отложений здесь составляет тонкостенная битая ракуша (60-68%). Кварц представлен бесцветными водяно-прозрачными разностями различной формы от угловатой до окатанной и его содержание достигает 40%. Тяжелая фракция состоит из единичных зерен гидрогетита, ильменита, эпидота, граната.

Железисто-ракушечные пляжи расположены в Керченском проливе в районе Камыш-Бурунского комбината. Содержание кварца в их отложениях от 4 до 9%, остальную часть легкой фракции составляет тонкостенная битая ракуша. В приурезовой зоне шириной 3-5 м встречается крупная ракуша.

2.3 КРУПНЕЙШИЕ АККУМУЛЯТИВНЫЕ ФОРМЫ БЕРЕГОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА И ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ИХ ЭВОЛЮЦИЮ

2.3.1 Район вершины Каркинитского залива

Берега вершины Каркинитского залива, сформированные морскими и континентальными четвертичными отложениями, представлены аккумулятивными формами и абразионными участками. Аккумулятивные формы образованы, главным образом, в результате продольного перемещения песчано-ракушечных наносов с запада и созданы за счёт раковинного детрита, который является ведущим компонентом в составе наносов. На востоке – ингрессионный (связанный с затоплением прибрежной суши) берег, имеющий плавные очертания. Наиболее крупный залив – Самарчик. У некоторых мысов и выступов расположены направленные к востоку косы, а за прикрытием мысов – небольшие примкнувшие террасы. Пляжи и аккумулятивные формы имеют донное питание. Отмечается устойчивое тектоническое опускание берегов. Побережье используется в основном для нужд сельского хозяйства. Рекреационное значение имеют Бакальская коса, с. Стерегущее и с. Портовое. Лебяжьи острова – орнитологический филиал Крымского природного заповедника (с 1949 г.). Аккумулятивные берега представлены наиболее полно: из примкнувших форм – отмерший береговой откос с широким пляжем, гасящим волнение у сёл Стерегущее и Аврора, и широкая зона пляжа, постепенно переходящая в низкую террасу, сложенную глинистыми или несвязанными породами в вершине залива: окаймляющая форма – коса, заключающая лагунное озеро – Бакальская; замыкающие формы – пересыпи новоандреевских озёр; отчленённая форма – Лебяжьи острова.

Некогда существовавший морской залив к юго-западу от мыса, на котором находится с. Портовое, с течением времени отделялся от моря и превратился в закрытую лагуну – Андреевский лиман (сейчас ширина пересыпи составляет 10 – 40 м). Этот процесс прослеживается, начиная с 1842 г. в виде образования и увеличения отдельных островов (Конджалайских) и выдвижения Сергеевской косы. Полное отделение произошло в 1998 г. Небольшие заливы к юго-западу от Андреевского лимана также отделились от моря и обособились в лагуны. Качественный анализ изменений береговой линии по географическим картам с 1817 по 2006 г. показал, что в последние 200 лет на фоне отступления берега происходил процесс отделения морских заливов и превращения их в лагуны.

Аккумулятивный берег Присивашья граничит с мелководьем восточной части Каркинитского залива (глубины до 0,8 м, чаще всего 0,2-0,3 м). Пляжи небольшие, часто в виде кос. Иногда пляжи отсутствуют, а прибрежная полоса покрыта зарослями камыша, который защищает берег от размыва. Пляжевый материал пополняется за счёт донного питания (створки раковин). Наблюдается обилие морской травы (*Zostera marina*, *Phyllophora nervosa*, *Dasya Baillouviana*). Дно покрыто толстым слоем темного ила. В период сильных ветров в зависимости от их направления наблюдаются или ветровая осушка, или нагон. На подножья глинистых обрывов волны воздействуют только во время нагонов, поэтому темп абразии берегов всего района относительно замедлен. На берегах до 2014 г. располагались рисовые чеки с соответствующей инфраструктурой (станции подкачки воды, раздольненская ветвь Северо-Крымского канала).

Лебяжьи острова состоят в настоящее время из шести островов, отделенных от побережья и друг от друга проливами и отмелями. Они сложены песчано-ракушечными наносами и подвержены постоянным изменениям конфигурации. Время от времени происходит даже изменение их числа. Высота островов над уровнем моря не превышает 1-2 м. Длина самого крупного острова около 3,5 км, ширина – около 350 м. Северо-западная береговая линия островов прямая, юго-восточная (в сторону Крымского п-ова) изрезана лагунами и пересыхающими маленькими озерами. На современных картах прослеживается процесс роста косы от с. Портовое в сторону о-вов Четвертый и Большой

Лебяжий (рис. 2.3). Это явление наблюдается с конца 80-х годов прошлого века; за 1988 – 1996 гг. коса Заповедная наращивалась в среднем на 275 м/год и в 1996 г. достигла длины 2200 м. Это максимальная скорость роста морских аккумулятивных образований у берегов Крыма. Непосредственной причиной образования и роста косы стало строительство в 1987 г. дамбы вблизи причала Крымского природного заповедника. В настоящее время коса замкнула лагуну Портовая (Горячкин, Долотов, 2011).

Рис. 2.3 –Изменение береговой линии в районе Лебяжьих островов



К юго-западу от Лебяжьих островов берег аккумулятивный, низменный, лиманный, представляет собой отмерший уступ размыва высотой до 1 м. Андреевский лиман и Сары-Булатская бухта находятся в стадии отчленения от Каркинитского залива Сергеевской косой и Лебяжьими о-вами. Преобладающая часть пляжей сложена целой и битой ракушкой с незначительной долей кварца и кремня. Ширина пляжей до 80-90 м. На пляжах – большое количество выброшенной морской травы, раньше ее собирали для использования в качестве упаковочного материала. Добыча в районе с. Портовое (до 1948 г. – Сары-Булат) в 60-х годах XX в. ракушки, из которой выжигали известь, привела к резкому уменьшению пляжа. Для его сохранения в 1989 г. было построено берегозащитное сооружение – каменная наброска, после чего резко активизировался рост косы от с. Портовое в сторону Лебяжьих о-вов. Несмотря на мелководность, здесь происходят интенсивные миграции наносов. Об этом можно судить по тому факту, что западнее Андреевского лимана (с. Тепиз) в начале прошлого века был сооружен ковш с подходным каналом к нему. И ковш, и канал оказались через некоторое время полностью занесенными песком (Зенкович, 1960).

К юго-западу от с. Портовое раньше находился залив Черного моря, а в настоящее время это Андреевский лиман (глубина до 0,5 м). Своё название он получил от ушедшего под воду в 40-е годы прошлого века с. Андреевка. Динамика берега в условиях дефицита биогенных наносов зависит от режима волнения и стонно-нагонных явлений. Периоды преобладания аккумуляции сменяются периодами преобладания размыва. Начиная с 60 – 70-х и до середины 80-х годов XX в. происходил размыв, а в последующее время – рост аккумулятивных форм. С 1990 г. Сергеевская коса удлинилась на 2,8 км, ассимилировала несколько Конджалайских о-вов и в 1998 г. преобразовалась в пересыпь, отделившую от Каркинитского залива Андреевский лиман. Он сохраняет связь с морем только через прорву шириной 15 м, которая периодически заносится или открывается.

У с. Ново-Андреевка берег приобретает черты активного абразионного и представляет собой непрерывный глинистый клиф с обнаженным бенчем у подножья. Плиоценовые бурые глины континентального происхождения активно разрушаются морем, которое при волнении приобретает коричневый цвет. Высота берегового откоса

повышается от 4 м на северной границе до 13 м у с. Аврора, он практически вертикальный, пляж полностью отсутствует. У основания обрыва – скопления морской травы. Это наиболее активный абразионный участок в Крыму, что во многом обусловлено влиянием антропогенной деятельности. Вода из расположенных поблизости рисовых чеков сбрасывалась в море, в результате чего усилилось развитие оврагов. Кроме того, высокая влажность грунта вследствие полива вызывала избыточное увлажнение глинисто-суглинистого субстрата. Средняя скорость отступления берега составляла около 3 м/год, потеря земли – около 1 га/год. С середины прошлого века берег отступил на 200 м и море поглотило с. Сергеевка.

У с. Аврора береговой откос выполаживается до 50° и отступает от уреза на 100 м. Современная морская терраса представляет собой причлененный к откосу пляж. Между урезом и коренным берегом расположена высохшая лагуна. Пляж сложен измельченной ракушей, у уреза ее перекрывает песок, много выбросов травы. В октябре 2005 г. нагонная волна высотой около 5 м пришла с юго-запада Каркинитского залива и подтопила с. Стерегущее. Были затоплены подвалы и первые этажи домов. Один автомобиль был унесен на 600 м от берега. Волна подъема уровня дошла до с. Портовое, прошла через Лебяжьи о-ва и достигла устья р. Самарчик. Из прибрежных поселков были эвакуированы люди. Подъем уровня продолжался примерно два часа. Этой волной на обрывистый берег высотой около 3,5 м было выброшено огромное количество морской травы *Zostera marina*. Из нее образовались параллельные берегу валы протяженностью несколько километров. По своему характеру они резко отличались от обычного заброса водорослей штормовыми волнами на клиф. По рассказам местных жителей, такой же катастрофический нагон наблюдался в конце 50-х годов прошлого века.

2.3.2 Бакальская коса

Бакальская коса – региональный ландшафтный парк (с 2000 г.). Акватория к востоку от неё является ботаническим заказником «Малое филофорное поле» (с 2012 г.). Коса представляет собой причленённое аккумулятивное тело окаймляющей формы, которое маркирует собой разлом глубокого заложения. Обе ее ветви своей корневой частью примыкают к интенсивно размывающемуся клифу. Она вдаётся на 8 км в Каркинитский залив к западу от с. Стерегущее (ранее – с. Верхний Бакал). В корневой части косы расположено солёное оз. Бакальское. Пляжи известняково-ракушечные с примесью кварца, имеют донное питание. Длина береговой линии Бакальской косы ранее составляла около 20 км. Непосредственной причиной образования косы явилась внешняя блокировка берега Бакальской банкой.

Коса состоит из двух ветвей. Западная ветвь узкая, её перехлестывает море во время волнения, отложения светлого цвета. Восточная широкая ветвь представляет собой соединившиеся валы, между которыми находятся вытянутой формы мелкие лагуны, ориентированные параллельно береговой черте. В приурезовой части ветви – песок, а в сторону лагуны – задернованный пёстроцветными солянками участок. По составу отложений ветви косы отличаются друг от друга. В районе с. Стерегущего пляжная полоса шириной до 50 м сложена битой ракушей с незначительной примесью гальки и гравия неогеновых известняков. Факт нахождения гальки восточнее Бакальской косы из пород, обнажающихся на западной стороне, был отмечен ранее (Зенкович, 1960). Море пополняет запасы пляжа путём выброса целых створок отмерших моллюсков с последующим их измельчением и перемещением по поперечнику пляжа. С удалением от уреза ракуша становится более измельчённой. В отложениях отсутствует материал мельче 0,5 мм. В пробе, взятой в 10 м от уреза, содержится менее 1 % глинистых частиц, а у уреза и в прибрежье они вообще отсутствуют. Количество обломков ракушки крупнее 2 мм колеблется от 40 % в 10 м от уреза до 90 % у уреза.

Пляжи в средней части косы, у лагуны, по составу известняково-ракушечные с примесью кварца порядка 6 %. Тяжёлая фракция представлена единичными зёрнами магнетита, ильменита и минералов группы диопсида. По крупности материал уступает восточному основанию косы: содержание обломков крупнее 2 мм порядка 30 %. Глинистая фракция отсутствует, песок, в основном, крупно- и среднезернистый. Западная ветвь косы сложена песком преимущественно из мелкоперетёртой ракуши с примесью кварца 15 – 20 %. В 70-х гг. XX века песок с западной ветви разрабатывался для строительных целей.

Бакальская коса относится к районам с активной динамикой побережья. В течение последних 50 лет она размывалась с западной стороны (до 8 м/год) и намывалась у восточного края. Анализ снимков со спутников серии Landsat за 1986 – 2009 гг. показал, что дистальная (наиболее удаленная) часть косы за этот период выдвинулась в акваторию Каркинитского залива в северо-восточном направлении на 300 м (средняя скорость 13 м/год). Наблюдалось уменьшение ширины косы в районе перешейка, соединяющего основное тело косы с дистальной частью, и смещение ее к востоку (западного берега на 160 м, восточного – на 100 м). Западный берег косы в 90-х годах прошлого века оставался относительно стабильным; после 2004 г. произошла активизация его размыва. Хорошо прослеживалось надвигание пересыпи, отделяющей море от оз. Бакальское, на его акваторию (до 150 м). Современный урез моря располагается на месте, где в 1986 г. была лагуна, что соответствует и геоморфологическим данным (начиная с 2007 г. после штормов на урезе западной части косы обнажаются иловые отложения озера). С началом XXI в., видимо, наступила новая фаза размыва. Ранее неоднократно наблюдаемый процесс обособления или соединения дистальной части с телом косы достиг своего логического развития (рис. 2.4).

В течение 2007 – 2010 гг. несколько раз было зафиксировано отделение дистальной части косы. После каждого отделения перешеек образовывался вновь, однако с каждым разом его ширина уменьшалась. К лету 2010 г. ширина перешейка составляла всего 10 – 12 м, а сам он принял S-образную форму. Наконец, осенью 2010 г. произошло отделение дистальной части с образованием промоины шириной более 600 м. Оно было обусловлено общей тенденцией развития Бакальской косы, аномально высоким уровнем моря в этот период в сочетании с активной штормовой деятельностью. Не исключено также влияние процесса добычи песка в районе Бакальской банки в 2009 – 2012 гг.



Рис. 2.4 – Космические снимки Бакальской косы в 2004, 2013, 2016 гг.

2.3.3 Аккумулятивные берега в Тарханкутских бухтах

Бухты – Ярылгачская, Узкая (Ак-Мечетская), Караджинская приурочены к синклинальным понижениям, образовались при более низких уровнях моря.

Ярылгачская бухта в своей вершине представляет песчаную пересыпь, отчленяющую от акватории целую группу солёных озёр-лиманов. Гипсометрия бухты с входящими в неё изобатами 5 и 10 м как бы подчёркивает древнее ложе балки озера Джарылгач. Вход в бухту контролируется двумя мысами, представляющими широкие ступени неогеновых известняков, погружающиеся под урез воды. Их перекрывают глины, образующие невысокие уступы размыва. Погрузившийся известняк образует широкий бенч без пляжей до глубины 10 м. Изобата 5 м отстоит от берега на 500 – 1200 м. Среднезернистые пески пересыпи хорошо отсортированы. Они состоят из обломков ракуши и оолитовых зёрен известняков, есть целая ракуша. Тяжёлая фракция незначительна в процентном отношении и состоит в основном из рудных минералов, силлиманита, циркона, эпидота. Масса песка, находящаяся в бухте, значительно превышает объёмы размываемых пород и раковинный детрит живущих в ней организмов, поэтому можно предположить, что песок в неё заносится со дна открытого моря. Ширина пляжей, имеющих рекреационное значение, достигает 40 м, мощность песков 6-8 м.

В 1978 г. в теле пересыпи был прорыт 130-метровый проход из Ярылгачской бухты в оз. Панское. Озерная пересыпь сейчас представляет собой две песчаных косы. От оконечностей этих кос для уменьшения заносимости параллельно друг другу сооружены две бетонных шпоры. На северном берегу озера в 1979 – 1991 гг. был построен новый порт «Черноморский» с причальной линией длиной 1 км. В порту ведутся гидротехнические и дноуглубительные работы. Порт принадлежит Крымскому предприятию «Черноморнефтегаз» и предназначен для базирования его технологического флота. До 70-х годов XX века минерализация рапы в озере составляла 80-110‰, сейчас солёность морской воды, заполнившей котловину бывшего озера, составляет 18‰. Илы также подверглись опреснению и потеряли лечебное значение. Фактически оз. Панское превратилось в техногенный залив.

Узкая бухта находится на стыке двух разнонаправленных тектонических структур Тарханкутского полуострова. По морфологии она имеет много сходных черт с Ярылгачской: является местом слияния двух крупных широких балок, оба входные мыса невысоки и образованы ступенчато спускающимися к воде пластами неогеновых известняков, дно против мысов обнажено и бенч уходит в глубь бухты, от бухты отгорожено небольшое солёное озеро, в акваторию заходит узкий язык глубин более 10 м. На восточном берегу бухты есть песчаные пляжи, материал для них попадает из открытого моря. На её восточном берегу в районе пгт Черноморское есть песчаные пляжи шириной до 40 м, их длина около 6 км. Черноморское является довольно известным курортом. Развалины города, находящиеся вблизи уреза, наглядно демонстрируют отступление береговой линии с античных времен до наших дней.

Караджинская бухта расположена на западной оконечности полуострова в синклинальном понижении между мысами Карамрун и Тарханкут. В глубь суши депрессию бухты продолжает оз. Караджинское, а затем широкая балка. Северный берег бухты представлен клифом понтических и мэотических известняков, линия берега неровная из-за неоднородности состава пород. Южный берег сложен сарматскими известняками и имеет ступенчатый профиль с абразионным уступом у основания. Ближе к вершине бухты известняки перекрываются глинами, песком, галькой. Пересыпь сложена ракушечно-оолитовыми песками. В её теле иногда есть промоины, через которые весной вода выливается в озеро, а летом – наоборот. Для берега характерны мелкие бухточки, где скапливаются валы из отмершей цистозеры, выполняющие берегозащиту от динамического воздействия, но одновременно способствуют растворению известняков, т.к. под ними скапливаются воды, богатые органическими кислотами. Признаками активного растворения известняков являются карровые поля на уступах.

Таким образом, для описанных бухт характерны абразионно-аккумулятивные пары берегов, где пересыпи формируются за счёт поступления из открытого моря, материала абразии и пролювиально-делювиальных выносов. Массы песков, слагающих надводные и подводные части современных пересыпей бухт, чрезвычайно велики по сравнению с запасами песков в открытых акваториях бухт. Абразия берегов и отмирание тысяч поколений живущей на дне фауны могут дать только сравнительно небольшой объем наносов, выброшенных к пересыпям. Поэтому очевидно, что основная часть материала поступила со дна открытого моря в наиболее сильные штормы или накопление наносов в бухте происходило в основном при более низких уровнях моря (Зенкович, 1960). В любом случае пересыпи крайне уязвимы вследствие негативного влияния антропогенной деятельности, поскольку современный приток наносов незначителен.

2.3.4 Аккумулятивные берега в районе оз. Донузлав

По генетическому типу берег относится к аккумулятивному, но в настоящее время отступающему, постоянно находящемуся под воздействием волноприбойной деятельности, благодаря чему он превратился в выровненный аккумулятивный. Из экзогенных процессов присущи в основном эоловые. По морфологической классификации берег относится к аккумулятивному лагунно-лиманному, отступающему, представленному замыкающей формой – пересыпью, по своей природе являющейся баром. Озеро Донузлав относится к лиманам, Ойбурское и Конратское являются переходной формой от лимана к лагуне, а Аджиджайчи, Аирчинское, Галгаское, Круглое и Мойнаки – лагуны. Песчаные накопления Донузлавской пересыпи, а также всей прибрежной зоны вплоть до Евпатории являются единым целым и находятся в равновесии с современным гидродинамическим режимом, происходят двухсторонние миграции наносов, т.к. берег открыт волнам широкого сектора. Между озёрами почти сплошь тянутся засухи. Граница района на юге проходит по городской территории Евпатории восточнее Евпаторийского мыса перед Мойнакскими озёрами. Евпаторийский выступ является границей двух аккумулятивных участков дна, и выбрасываемый со дна материал поступает как в сторону Евпатории, так и оз. Донузлав. Мыс сложен песчаными отложениями, но близко от уреза обнажаются известняки, ему присущи эоловые формы: бугры, дюны, но плохо выраженные из-за антропогенной деятельности. Известняки в районе Мойнакских озёр погружены на дне уже на глубину 25 м.

Ширина абразионной террасы 2-4 км, уклоны известняковой поверхности (0,005 – 0,01) значительно меньше, чем профиль равновесия для песков, поэтому все наносы выбрасываются к берегу и образуют существующий бар. Вместе с песком и ракушкой поступают и плиты известняка, оторванные волнами от коренных пород на дне.

Спутниковые данные за 1986 – 2012 гг. свидетельствуют о том, что на отрезке оз. Донузлав – м. Евпаторийский берега на 75% относительно стабильны, на 9% нарастают, на 16% отступают. Характерно, что участки с отступающим берегом расположены у мысов, а с нарастающим – в вогнутостях берега, то есть идет естественный процесс выравнивания берега. Вместе с тем характерны и двунаправленные тенденции, связанные с воздействием отдельных сильных штормов.

В конце 1961 г. через пересыпь оз. Донузлав был прорыт канал шириной 200 м, в результате уровень озера поднялся на 70 см, а солёность сравнялась с морской – 18‰ (до прорытия канала она составляла 95‰). По данным наблюдений за 1961 – 1966 гг., после прорытия канала береговая линия отступила на отдельных участках на 25-60 м. К 80-м годам XX в. произошло ее выравнивание и стабилизация. В 1982 – 1987 гг. на отдельных участках южной и северной кос происходили знакопеременные изменения относительно среднего положения береговой линии. По данным спутниковых снимков 1984 – 2009 гг., на пересыпи отмечалась небольшая тенденция к нарастанию берега. Анализ спутниковых снимков сверхвысокого разрешения показал, что в течение 2003 – 2008 гг. на северной и южной косах наблюдались участки как с нарастанием, так и с отступанием берега.

Осредненные величины показывают некоторое преобладание отступления береговой линии: северной косы со скоростью 0,2 м/год, южной – 0,5 м/год (рис. 2.5).

На всём протяжении ширина пляжей значительная, от 20 до 50 м незадернованная часть, наибольшая она на Донузлавской пересыпи. Отложения представлены среднезернистым песком, состоящим из карбонатов со значительной примесью кварца. Остатки ракушки хорошо окатаны, измельчены, поэтому трудно делимы остатки фауны и обломки известняка. Примесь минералов тяжёлой фракции незначительна, преобладают гидроокислы железа, есть гранат, циркон, роговая обманка, пироксены, рутил, силлиманит и др. На большом протяжении пляж очень ровный, поднимается полого одним склоном, поэтому наблюдается большая величина осушки во время волнения: 3-5 м при 3 баллах, до 15-20 м при 5-ти баллах. Гальки в отложениях 10-20 %, в районе с. Молочного – повышенное её содержание.

Южная коса Донузлава с конца прошлого века интенсивно осваивается и сейчас полностью застроена коттеджами со стороны озера, некоторые из них расположены непосредственно в приурезовой зоне моря. При этом рельеф планируется бульдозерами, уничтожаются прибрежные дюны, спиливаются кустарники и деревья, которые их закрепляют. Все это неизбежно должно привести к деградации пляжей, поскольку усиливается ветровая эрозия, которая в этом районе Крыма очень существенна.

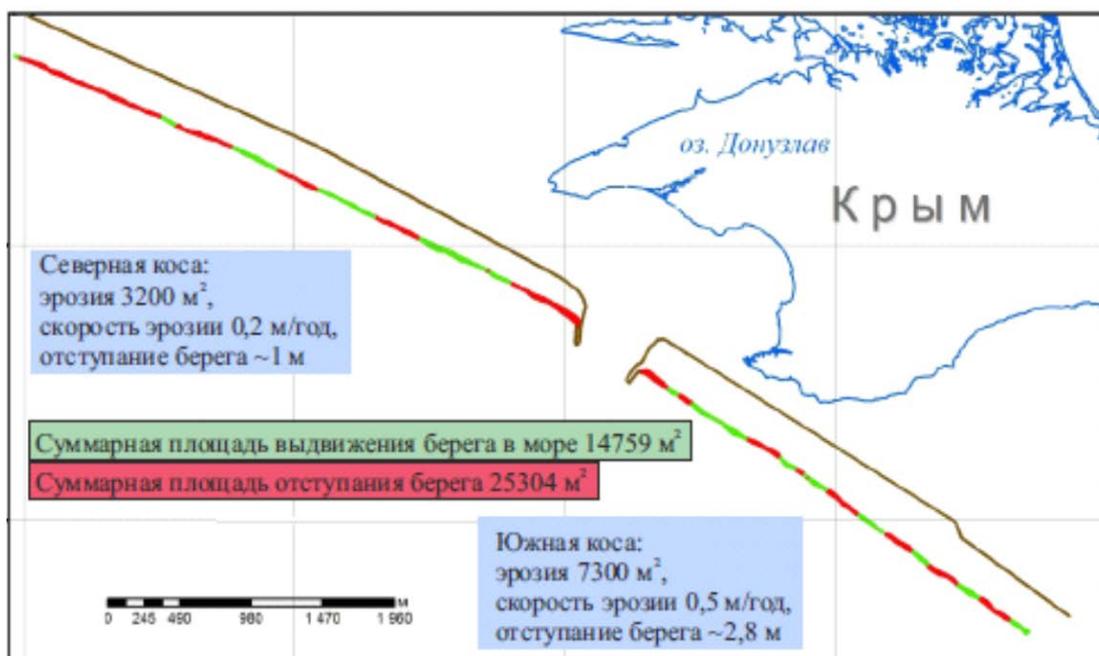


Рис. 2.5 – Изменения береговой линии пересыпи оз. Донузлав (2003-2008 гг.)

2.3.5 Аккумулятивные берега района Евпатории и Каламитского залива

По генетическому типу берег на всём протяжении аккумулятивный отступающий, являющийся частью аккумулятивно-абразионной пары Каламитского залива. Благодаря переработке морем и неотектонике первоначально расчленённый берег превратился в выровненный аккумулятивный. Берегу присущи эоловые формы переработки поверхности. По отношению к тектоническим структурам он имеет поперечное направление, устойчивую тенденцию к понижению. По морфологической классификации берег относится к аккумулятивной замыкающей форме – пересыпи.

Ширина абразионной террасы колеблется от 5 до 10 км, пятиметровая изобата подходит к берегу на расстояние от 0,5 до 1,0 км. Количество гальки в пляжных отложениях увеличивается с севера на юг. На окраине Евпатории примесь гальки в песке порядка первых процентов, состав пёстрый. Южнее отложения укрупняются, состав уже

песчано-галечно-гравийный (песчаник, мраморовидный известняк, кварц и кремль) – от уреза поднимаются одним склоном в 30° крутизной. Ближе к г. Саки состав пляжа гравийный, он также в приурезовой части имеет уклон 20 – 25°, по составу песчаник с примесью кварца и известняка по 10 %. В Прибрежном пляж тоже гравийный, состоит на 55-60 % из песчаника, на 30 % – из известняка, 10-15 % – кварца и кремня. Песчаная фракция в основном ракушечного состава, поэтому её крупность повышается до грубо- и крупнозернистой. Кварца – доли процента, тяжёлой фракции – тоже. Она представлена гидроксидами железа, пироксеном, арагонитом.

Между м. Евпаторийский и пересыпью оз. Мойнаки располагается пгт Заозерное. Выходы известняков подступают практически к берегу, поэтому мощность песков здесь всегда была невелика, а пляжи разрушались в результате штормовых воздействий. В связи с общим уменьшением наносов практически повсеместно отмечается уменьшение ширины пляжей. На них много окатанных известняковых обломков. Небольшая открытая Мойнакская бухта лежит на продолжении двух логов – Отар-Мойнакского и Ялы-Мойнакского. Берег бухты образован пересыпью, отделяющей от моря полосу соленых озер и «засух». Между основной пересыпью и этими озерами отчленены более мелкие озера. В 70-х годах XX в. при строительстве круглогодичного детского пионерского лагеря санаторного типа «Юный ленинец» часть из них была засыпана. Пересыпь относительно стабильна, о чем свидетельствует сравнение аэрофото- и спутниковых снимков 1941 и 2013 гг. Этому способствуют большая мощность песков пересыпи (6-8 м) и их значительные запасы на дне. В отличие от соседних участков дно почти на всем протяжении бухты покрыто песками, а сама она является своеобразной ловушкой наносов. Измерениями установлено, что сезонная и межгодовая изменчивость очертаний береговой линии здесь достигает 10-12 м. Обычно площадь пляжа максимальна в осенний период и минимальна в начале лета.

В конце XIX в. в центральной части Евпатории располагался значительный по ширине пляж. Штормовые нагоны периодически заливали прибрежные улицы и создавали определенные проблемы, поэтому в начале XX в. в центре города было построено берегозащитное сооружение в виде наклонной стенки из местного камня-ракушечника. Дальнейшая динамика пляжа в этом районе города зависела от наличия или отсутствия этой стенки, которая периодически разрушалась и восстанавливалась. Очевидно, что при наличии стенки обратным движением волнового потока песок из приурезовой зоны мигрировал на большие глубины или передвигался вдоль берега. Этот материал аккумулировался юго-западнее набережной, что подтверждается сравнением съемок положения береговой линии в 1847, 1896 и 1957 гг.

Последняя, наиболее масштабная, реконструкция набережной в центре города была осуществлена в 1968 – 1972 гг., при этом было построено берегозащитное сооружение в виде бетонной стенки с фасонным волноотбойником длиной 1,8 км, после чего пляжи в центре города полностью исчезли. В конце 70-х годов XX в. на мысе Карантинный был построен мол длиной 200 м в виде монолитного бетонного сооружения, 70 м оконечности которого построено на сваях. Существовавшая ранее миграция наносов изменилась, и с восточной стороны мола образовалась обширная отмель. После окончания строительства мола создавшийся дефицит наносов привел к быстрому сокращению пляжей к западу от него.

Изменения береговой линии в черте г. Евпатория можно оценить при сравнении аэрофотоснимка, сделанного в августе 1941 г., и снимка, полученного со спутника Quickbird в июле 2010 г. (рис. 2.6). Ширина пляжей в 1941 г. составляла 20-80 м. За прошедшие 70 лет наибольшие изменения произошли в районе от м. Карантинный до ул. Московской. Здесь среднее отступление береговой линии составило 32 м, максимальное – 60 м. От ул. Московской до оз. Мойнаки среднее отступление составило 18 м, максимальное – до 30 м (на небольших выступах береговой линии).

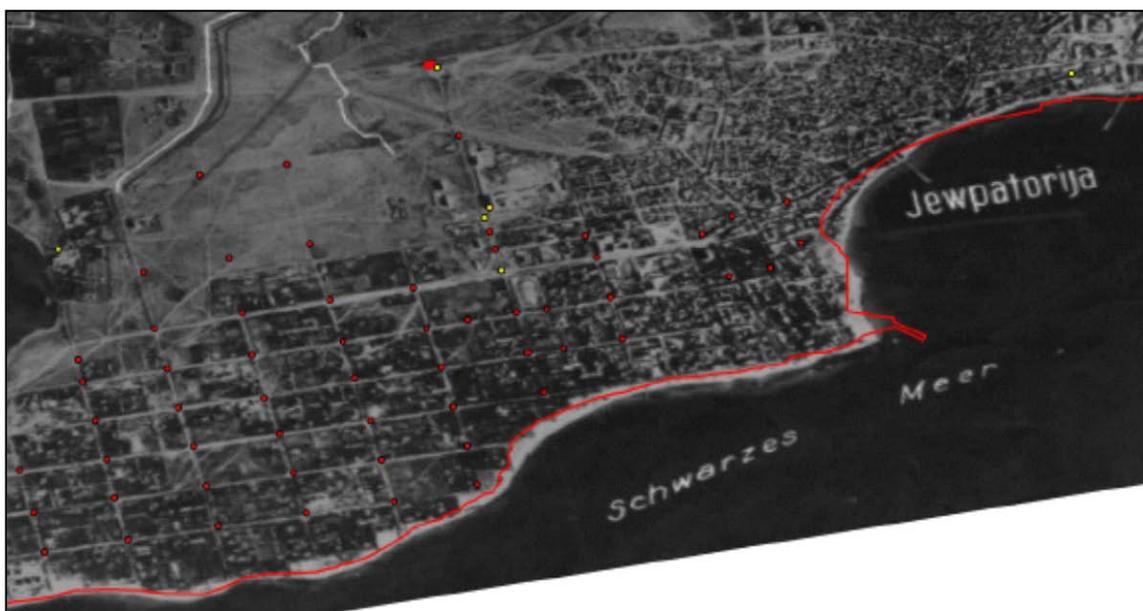


Рис. 2.6 – Береговая линия 2010 г. в Евпатории (красная линия) на фоне аэрофотоснимка 1941 г.

В районе набережной Горького в Евпатории пляжи потеряли до 50 м своей ширины. Еще в начале 60-х годов прошлого века здесь располагался Золотой пляж. В настоящее время это название уже не используется, а ширина пляжа составляет всего около 20 м. Один из наиболее пострадавших районов Евпатории – городской пляж парка имени М.В. Фрунзе. Здесь за 1967 – 2006 гг. пляж сократился на 50-70 м. Значительные проблемы начались после строительства на пляже в 60-х годах прошлого века капитальных сооружений – двухэтажных бетонных навесов, так называемых азрариев. Штормовые волны подмывали их бетонные основания, урез моря со временем стал подступать к ним все ближе. После строительства мола в порту процесс деградации пляжа ускорился, азрарии стояли уже в воде и в начале 80-х годов их демонтировали, так как пляж продолжал отступать, и его ширина уже не позволяла гасить волновую энергию. Зимой 2007 г. была частично разрушена набережная, которую укрепили короткими шпорами. Со временем море вплотную подступало к набережной, иногда обнажая и размывая подстилающую песок глину. Резко сократился запас песка на подводном склоне. Все это серьезно повлияло на рекреационные возможности курорта. В целом суммарное уменьшение пляжей в районе курортной зоны Евпатории за 1941 – 2010 гг. составило 300000 м². Большая часть этих изменений произошла после 1967 г., что показало сравнение с топографической съемкой, выполненной в этом году. Математическое моделирование подтвердило неизбежность деградации пляжей вследствие строительства мола Евпаторийского морского торгового порта (Горячкин, Харитонов, 2010).

На восточной окраине Евпатории в районе ул. Симферопольской еще в конце 50-х годов XX в. ширина пляжей составляла около 50 м (аэрофотоснимок 1948 г. подтверждает этот факт). Однако после завершения строительства мола и бетонной набережной в центре города они стали стремительно сокращаться. Прогнозировавшиеся ранее разрушения инженерных сооружений и жилых построек стали печальной реальностью. Однако частными лицами продолжалась застройка прибрежной зоны и самостоятельное укрепление берега (наброски, площадки, стенки, спуски). Такая защита привела к тому, что ситуация в районе аварийных зон и на прилегающих к ним участках побережья значительно ухудшилась. В связи с этим прекратили свою работу нефтебаза и рыбный цех. Их развалины усугубляют негативное впечатление от окружающего ландшафта. Пляж перед так называемой берегозащитой исчез полностью, а на берегу возник искусственный клиф из строительного мусора высотой до 2 м.

Между Евпаторией и курортной зоной г. Саки на 12 км протянулась обширная пересыпь оз. Сасык. Она представляет собой часть единого аккумулятивного образования, которое тянется от пересыпи м. Карантинный до оз. Кызыл-Яр. Параллельно внешней пересыпи в акватории озера ранее имелась вторая пересыпь, так называемая промысловая коса (Зенкович, 1960). В настоящее время она разрушена, так как прилегающая к морю часть озера разбита на многочисленные бассейны для добычи соли. Пересыпь сложена песком, ракушей, гравием и галькой. Эти отложения уходят в сторону озера под покров озерных илов и там выклиниваются. Сейчас здесь идёт беспрецедентная по масштабам добыча песка.

На урезе по мере продвижения на юг процентное содержание гравийно-галечной фракции возрастает. Галька состоит в основном из известняка (60%), песчаника (30%) и кварца (10%). Ширина пляжей до шоссе составляет около 70 м. Пересыпь в течение долгих лет стабильна. Признаков существенных изменений береговой линии за последние 70 лет не отмечено, на что указывает анализ аэрофото- и спутниковых снимков, а также данных контактных измерений.

Известно, что эксплуатация карьеров в прибрежной зоне ведет к изменению профилей пляжей и сокращению их ширины. Первые карьеры добычи песка на Сасыкской пересыпи были заложены в южной части пересыпи еще в 20 – 30-е годы XX в. В первой половине 50-х эксплуатация его продолжилась. По мере разработки месторождения перемычка, отделявшая карьер от моря, сузилась под действием штормов и выгнулась в сторону карьера. Тогда же было отмечено сокращение пляжей в местах, прилегающих к перемычке. В связи с опасностью изменения солености рапы в оз. Сасык был закрыт карьер и начата подводная добыча песка. В районе пос. Прибрежное его было добыто 1,5 млн. м³ (Шуйский, 2005). На месте разработок песка и некогда существовавших высоких дюн образовались засухи, иногда заполняемые водой. В настоящее время пляжи южной части пересыпи оз. Сасык находятся в относительно благополучном состоянии. Однако активное строительство (в том числе и в 100-метровой зоне) и уничтожение растительности, закрепляющей песок, вызывают определенную тревогу.

Между озерами Сасык и Сакское тянется широкая пересыпь к югу вдоль края водораздельного пространства. Ранее здесь был виден древний абразионный уступ, вырезанный в глинах в виде пологого задернованного склона (Зенкович, 1960). Сейчас из-за наличия почти сплошной череды оздоровительных сооружений на берегу он не прослеживается. В период интенсивной эксплуатации карьера вдольбереговой поток наносов практически полностью перехватывался. В результате мощный дефицит наносов вызвал отступление берега примерно на 11 м. Тем не менее в настоящее время здесь находится один из наиболее широких (до 140 м) и стабильных пляжей, так как в этой зоне происходит схождение двух потоков наносов, направленных с юга и севера.

Пересыпь озера Сакское имеет несколько меньшую ширину и более грубый, чем в оз. Сасык, состав наносов: они представлены песками с большой примесью гравия и гальки. Мощность песков этой пересыпи составляет 24 м. Под ними лежат 8-метровая толща серого ила, ниже – красно-бурые глины, из которых сложены также берега озера. До начала 80-х годов прошлого века берег был стабильным. Однако затем он стал стремительно размываться и за 1983 – 2006 гг. отступил на 18-33 м. В дальнейшем скорость размыва сократилась. В попытке предотвратить разрушение построек, оказавшихся в прибойной зоне, применялись различного рода каменные наброски, песчаные валы в сочетании с траншеями в качестве барьеров для избегающих волн. Впоследствии были построены поперечные сооружения, удерживающие пляж, стенки с волногасящими камерами из щелевых плит и др. Для всех проведенных мероприятий потребовались значительные финансовые средства.

Отмеченное активное отступление берега с 1983 г. было не случайным. В 1982 г. на северной границе пересыпи озера Кызыл-Яр было построено поперечное берегу водозаборное сооружение объекта НИТКА (наземный испытательный тренировочный

комплекс авиационный). Оно перехватывало поток наносов (в среднем 27,8 тыс. м³/год), а около 50 тыс. м³ песка переносилось ежегодно мимо водозабора во взвешенном состоянии и только частично поступало на пляжи Сакской пересыпи. Южнее водозаборного сооружения стал накапливаться материал вдольберегового потока наносов, и береговая линия выдвинулась на длину гидротехнического сооружения (около 100 м). В первые годы среднегодовая скорость аккумуляции составляла 7,5 м/год. Севернее водозаборного сооружения начался интенсивный размыв, среднегодовая скорость которого на Сакской пересыпи составила 3,7 м/год. Начиная с 2000-х годов берег постепенно стал приходить в равновесие, скорость размыва уменьшилась. Границей евпаторийских аккумулятивных берегов можно считать пересыпь оз. Кызыл-Яр, до восточной части которой берег остается неизменным. Длина пересыпи 2,5 км, ширина уменьшается от 100 м на западной оконечности до 20 м – на восточной. В ведомственном отчете за 1986 г. указывалась ширина 200-300 м. Пересыпь сложена преимущественно галькой с прослоями песка. В ходе бурения скважин под слоем грубых наносов на глубине 17 м обнаружен слой красно-бурых глин. Пересыпь находится в относительно стабильном состоянии.

2.3.6 Аккумулятивные берега в устьях рек Западного Крыма

Курортная зона с. Песчаное – одна из старейших на западном берегу Крыма. Зона отдыха стала развиваться с 1956 г., когда у самого устья р. Альма построили районный межколхозный дом отдыха. В то время здесь располагались прекрасные аккумулятивные песчаные пляжи, а основным поставщиком пляжевого материала был твердый сток р. Альма. Количество взвешенных и влекомых наносов, поступающих с рекой в море, составляло около 24 тыс. т/год. Основное строительство пионерских лагерей, пансионатов и санаториев развернулось в 70-е годы XX в., когда с. Песчаное связали асфальтовыми шоссе со всеми центрами Юго-Западного Крыма. По мере ввода в строй объектов отдыха нарастали проблемы в береговой зоне. В 70-х годах XX в. твердый сток р. Альма практически иссяк, так как в дополнение к действующему с 1934 г. Альминскому водохранилищу (6 млн. м³) в верховьях реки у с. Каштановое в 1966 г. было построено Партизанское водохранилище (35 млн. м³). В начале 1982 г. пляж в районе с. Песчаное исчез практически полностью, а бровка клифа находилась в непосредственной близости от строений. За последние 110 лет клиф у м. Керменчик вблизи устья р. Альма отступил на 80 м, отступила и береговая линия. В настоящее время небольшое количество твердых наносов поступает в море только в сильные паводки, а устье реки больше напоминает ручей.

Геологическое строение устья реки Кача очень своеобразно и свидетельствует о том, что на его месте ранее располагался лиман, заполненный потом аллювием (Зенкович, 1962). На реке сооружены два крупных водохранилища – Бахчисарайское (6,9 млн. м³, построено в 1934 г.), используемое для снабжения питьевой водой г. Бахчисарай, и Загорское (27,8 млн. м³, построено в 1975 г.), обеспечивающее водой г. Ялту через систему гидротуннелей. Строительство последнего привело к значительному сокращению твердого стока реки. Пляжи в районе устья в настоящее время имеют ширину до 30 – 35 м, они сложены преимущественно песком, галька имеет подчиненное значение.

Примыкающая к пляжу пос. Любимовка пойменная долина реки Бельбек сохранила все черты существовавшего на ее месте лимана, впоследствии перекрытого сверху аллювием до песчаного вала, отделяющего пойму от моря. Бельбек – самая полноводная река Крыма. В настоящее время, после строительства в 1964 г. водохранилищ Счастливое-1, Счастливое-2 и Ключевское общим объемом более 12 млн. м³, зарегулировано примерно 20% ее стока. Объем твердого стока оценивается величиной приблизительно 18 000 м³/год. Здесь находится естественный пляж, наибольший по протяженности (2,2 км) и ширине (до 60 м) в регионе г. Севастополя. Он сложен преимущественно гравийно-галечным материалом непосредственно вблизи уреза воды, с песчаным и песчано-гравийным заполнителем на остальной территории. Поступление аллювия в течение года крайне

неравномерно. В район приустьевых взморья, помимо мелкодисперсных фракций, выносятся песок и гравий. При сильных паводках возможен вынос крупной гальки. Наиболее значительная межгодовая изменчивость положения береговой линии зафиксирована на северном и центральном участках пляжа. Амплитуда смещения достигает 20 м. Проявляется тенденция к отступанию берега со средней скоростью около 1 м/год. На южном участке, напротив, наблюдается выдвигание линии уреза воды в сторону моря с такой же скоростью.

2.3.7 Аккумулятивные берега Феодосийского залива и оз. Узунлар

Побережье Феодосийского залива представляет собой плавную дугу (длина береговой линии 50 км), открытую в сторону моря. На берегу западной оконечности залива расположен город-курорт Феодосия. Дно залива ровное пологое, глубина на внешней границе 20 – 28 м. Берега на западе залива низменные, окаймленные песчаными пляжами, на востоке – возвышенные и обрывистые. Береговая линия в античные времена была значительно южнее, чем сейчас; в 1894 г. на дне бухты обнаружены остатки древних портовых сооружений. В западной части залива располагается пересыпь между морем и озерами-болотами у откосов коренного берега, сложенного майкопскими глинами. На пересыпи расположены знаменитые песчаные феодосийские пляжи. В геоморфологическом отношении западная часть Феодосийского залива представляет собой слабонаклоненную морскую аккумулятивную террасу. Ширина абразионной террасы составляет около 4-х км, её уклон – 0,02. Определяют формирование и развитие береговой зоны эрозионные, абразионные и аккумулятивные процессы, которые осложнены техногенным воздействием. Участок находится между двумя параллельными зонами глубоких региональных разломов, испытывает, вероятно, отрицательные неотектонические движения, если судить по мощным аккумулятивным формам. Основным источником пляжевых наносов является материал, образующийся от разрушения берегов. Эти отложения находятся в активной волноприбойной зоне и подвергаются переработке во время штормов. Ширина пляжей достигает 100 м, они постепенно, без видимых переходов сочленяются с коренными майкопскими глинами. Пляжи состоят они из двух полос: ближе к урезу находится полоса 30 – 50 м, сложенная песком из измельченной толстостенной отполированной ракушки с примесью почти целых экземпляров. Во второй полосе крупные раковины уже не встречаются. Содержание кварцевых зёрен в усреднённой пробе 8-9 %, минералов тяжёлой фракции, представленных лимонитом, гидрогетитом, магнетитом, ильменитом, лейкосоном, диопсидом, 8-12 %. Глинистых – не более 1 %. По крупности материал относится к смеси, почти в равных количествах, крупно- и среднезернистой фракций. Таким образом, для формирования пляжей решающую роль играет биологическая продуктивность моря и вдольбереговой перенос материала с востока на запад. Пляж очень постепенно поднимается от уреза воды. Даже при волнении в 2 балла ширина заплеска составляет 3-4 м, он оконтуривается створками целых мидий, выносимых со дна. Часть их остается на берегу, часть выносятся в море и оседает на подводном склоне.

По отношению к тектоническим структурам берег можно считать продольным. По морфологической классификации относится к аккумулятивному берегу, представленному широкой зоной пляжа, постепенно переходящей в низкую террасу, сложенную майкопскими глинами. В связи с общим уменьшением количества наносов существует угроза сокращения пляжей. Кроме того, состояние побережья в этом районе осложняют обычные для Крыма проблемы – незаконное строительство в береговой зоне, несанкционированный отбор пляжевого материала, плохое состояние берегозащитных сооружений и т. п. В целом состояние аккумулятивных пляжей Феодосийского залива можно считать относительно удовлетворительным.

Узунларский участок охватывает побережье между м. Чауда и пос. Яковенково (где отмечается выход неогеновых известняков у уреза) и представляет собой абразионно-аккумулятивную систему, создаваемую и перестраиваемую современной гидродинамикой и неотектоникой. В настоящее время берег имеет вид выровненного сложного берега. Из экзогенных процессов, кроме абразии и аккумуляции, встречаются проявления водной эрозии в виде редких балок и изредка промоин на склонах, плоскостной эрозии на береговых склонах. Положение берега относительно тектонических структур - продольное. Современная тенденция вертикального движения берегов – отрицательная. Между м. Чауда и горой Опук берег можно считать лиманным. По морфологической классификации относится к абразионно-аккумулятивной системе, в которой исходное расчленение обусловлено геологическим строением и эрозионной сетью. По форме участок представляет чередование абразионных и аккумулятивных форм выровненного берега. У озёр ширина пляжей до 25-35 м. На пересыпи Узунларского озера незадернованная часть пляжа составляет 30-40 м, она ступенеобразно поднимается над урезом под углом 20-30°. Первая пляжная терраса ограничена травой зостера, вторая – отдельными её пучками, третья – целой ракушей. Пляжи полностью сложены измельчённой толстостенной отполированной ракушей, встречаются целые экземпляры и редкая галька, очень редкая, из песчаника, кремня и сидерита. Восточнее горы Опук на протяжении 4-5 км над современным пляжем на высоту 1,0-1,5 м поднята песчаная терраса шириной до 100 м. Район Узунлара находится в удовлетворительном состоянии, чему способствует тот факт, что здесь расположен крупный военный полигон и заповедник, в связи с этим хозяйственная деятельность здесь не ведётся, район закрыт для посещения.

2.3.8 Аршинцева коса и остров Тузла

Песчаная Аршинцевская коса – одно из самых любимых мест отдыха в районе Керчи. На современных картах она до сих пор носит название Камыш-Бурунская. Коса в ширину достигает 100 м, в центре она прорезана дорожным полотном. Застройка жилыми домами территории косы началась в середине 1950-х годов, что и стало одной из причин ее постепенного разрушения. Уже к началу XXI в. состояние волногасящих пляжей косы характеризовалось как катастрофическое. С 1980 по 2005 г. на отдельных участках было потеряно до 70 м пляжной полосы. Волновым воздействием разрушен жилой сектор в центральной части косы, ввиду чего жильцы были отселены. Самодетельное строительство берегозащитных сооружений в виде поперечных бун в центре косы только ухудшило ситуацию. Под угрозой размыва оказалось полотно автодороги на участке севернее построенных бун. Во время штормов происходит подтопление территории, разрушаются здания рекреационных учреждений, расположенных в прибрежной зоне. Мероприятия по берегозащите в районе пос. Аршинцево и Аршинцевской косы были включены в Программу по инженерной защите территорий Крыма на 2000 – 2005 гг., но так и не были выполнены.

В 7 км к востоку от Аршинцевской косы в центральной части Керченского пролива находится еще одно крупное песчаное аккумулятивное тело – остров Тузла. Ранее он представлял собой узкую полупогруженную в илы полосу суши, сложенную кварцевыми песками с примесью ракуши и гальки. Тузлинская коса ранее полностью примыкала к Таманскому п-ову. В XVIII в. на месте косы была цепочка островов. Позднее из них сформировалась сплошная коса, которая впервые появилась на картах в 1830 г. В 1925 г. местные рыбаки прорыли в косе небольшой канал, чтобы сократить путь с одной стороны косы на другую. В том же году во время мощного шторма канал сильно размыло и часть косы превратилась в остров, отделенный от основного тела косы проливом, достигшим через определенное время ширины в несколько километров. В 2003 г. со стороны Таманского п-ова была построена искусственная дамба, в результате чего восточная часть о. Тузла стала размываться. Материалы, слагающие тело о. Тузла, поступают в основном с

обширных бенчей черноморского побережья со стороны Таманского п-ова. Начало черноморской ветви основного питающего потока наносов расположено в районе м. Железный Рог. В настоящее время на о. Тузла ведется масштабное строительство мостового перехода Кавказ-Крым, в связи с чем по периметру он обнесен каменной насыпкой. Фактически он превратился в техногенный остров.

2.3.9 Аккумулятивные берега Крыма в Азовском море (Казантипский залив и Арабатская стрелка)

Берег в районе Казантипского залива является ярко выраженным аккумулятивным выровненным благодаря умеренному воздействию волновой энергии, направленной на выброс биогенных остатков со дна моря. Относительно протяжённой синклиналиной зоны берег можно считать продольным без учёта восточной пересыпи Акташского озера. По морфологической классификации берег аккумулятивный, часть его относится к примкнувшей форме: широкой зоне пляжа, постепенно переходящего в низкую террасу, сложенную суглинистыми и несвязными породами. Другая часть представляет собой замыкающую форму: восточную ветвь сложной переимы, заключающей лагунное Акташское озеро и соединяющей Казантип с сушей. В районе сёл Песочное и Зелёный Яр развиты эоловые процессы: микродюны и развеваемые пески.

Коренными породами на участке являются верхнеплиоценовые кварцевые пески, которые постепенно переходят в глинистые пески или супеси с прослоями карбонатных стяжений. Супеси и пески постепенно переходят в толщу песчаных желтовато-бурых делювиальных суглинков, в которых содержатся прослои и линзы мелкого гравия и иногда обломки карбонатных пород неогена. Таким образом, нижний горизонт четвертичных отложений имеет элювиальное происхождение, а верхний – делювиальное. Участок сложен наиболее размываемыми породами, поэтому залив и заходит так далеко в сушу. Подводный профиль выработанный с уклонами у уреза 0,008 (2-х метровая изобата удалена от берега на 24 м).

Характерны пляжи, полого поднимающиеся от уреза и плавно переходящие в низкую песчаную террасу около 500 м шириной, на которой расположены приморские сёла. Ширина незадернованной части 20-30 м. Механизмом формирования пляжа является приращение новых пляжных террас. Так у с. Ново-Отрадное отмечено постепенное приращение 5-ти пляжных террас. Состав песчаных отложений в центре залива однородный, среднезернистый, по вещественному составу на 40 % состоит из кварца и на 60 % – из ракуши, минералов тяжёлой фракции (ильменит, хлорит, гранат) – единичные зёрна. Отрицательных изменений береговой линии за последние десятилетия не выявлено.

В районе Арабатской стрелки по генетическому типу берег относится к выровненному аккумулятивному. Однако Арабатская стрелка - подвижная аккумулятивная форма, постоянно находится в состоянии формирования и перемещения. Древнеазовский береговой уступ и реликт Арабатской стрелки расположены на расстоянии 14-15 км от берега и перекрыты мощной толщей (5 м) новоазовских илов. Из экзогенных процессов присущи только эоловые. Направленность тектонических движений – устойчиво-унаследованная отрицательная и вся стрелка относится к берегам опускания. По морфологической классификации относится к береговому бару, в данном случае к окаймляющей Сивашскую лагуну форме. Образован он благодаря поперечному перемещению наносов в акватории Азовского моря. Исконным морским берегом являлся материковый берег Сиваша, но впоследствии, будучи совершенно отчленённым от открытого моря Арабатской стрелкой, он потерял облик морского, и крымским берегом считается берег стрелки. Стрелка образовалась сравнительно недавно. Ещё на карте генуэзцев средних веков вместо стрелки показана цепь островов. Ширина стрелки 0,5-1,0 км, поднимается над уровнем моря на 2-3 м. Сложена ракушечными песками и ракушняком мощностью 8-13 м. Они лежат на слежавшихся сивашских илах мощностью до 22 м, которые, в свою очередь, перекрывают размытую поверхность четвертичных

лёссовидных суглинков, опущенных на значительную глубину после своего образования. Пляжи на всём протяжении широкие 20-30 м, сложены исключительно песком из измельчённой ракушки с примесью целых и слабо измельчённых экземпляров. По гранулометрическому составу с юга на север стрелки отмечается измельчение материала со среднезернистого через разномерный к мелкозернистому. По вещественному составу – в основном ракушечные, кварц от 30-40 % у основания, 10-15 % у дистального конца до первых процентов в центре. Тяжёлых минералов – доли процента, в основном арагонит, но есть примесь ильменита, лейкоксона, циркона, пироксона.

2.4 Волновой климат прибрежной зоны Крымского полуострова

2.4.1. Современные методы анализа волнового климата

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 данном этапе проведена настройка спектральной волновой модели DHI MIKE 21 SW для автоматического разделения компонент поверхностного волнения. Получены оценки особенностей пространственного распределения мощностей ветрового волнения и зыби за последние 38 лет (1979-2016 гг.), а также статистические характеристики волновой изменчивости.

В структуре поверхностного волнения можно выделить, как правило, два основных компонента: чисто ветровое волнение и зыбь. Развитие ветрового волнения непосредственно приурочено к локальному ветровому полю. К зыби относятся волны, распространяющиеся вне зон генерации, или же фазовая скорость которых превосходит скорость ветра (например, U.S. Army Corps of Engineers, 2002). В открытом океане зыбь может распространяться на сотни и тысячи километров. В Черном море характеристики зыби лимитируются ограниченными географическими размерами и замкнутостью акватории моря.

Обычной практикой является представление характеристик волнового поля в виде набора интегральных параметров (значительная высота волн, средний период, генеральное направление распространения). Подобный подход оправдан в случае однородного волнового поля. Если волновой спектр формируется как результат взаимодействия нескольких волновых систем, то представляется вполне естественным получить отдельные волновые статистики для каждой из этих систем.

Кроме чисто научного интереса, разделение волнового поля на отдельные компоненты позволяет:

- более корректно описывать пространственно-временную структуру поверхностного волнения;
- эффективнее рассчитывать волновые нагрузки на сооружения в прибрежной зоне, а также опасные явления на защищенных акваториях (низкочастотные колебания);
- уточнять схемы перераспределения и транспорта донных осадков;
- корректировать прогностические оценки волновой обстановки в интересах морской навигации.

2.4.2. Выделение компонент волнения

Остановимся на кратком описании используемой модели, экспериментальных данных, а также физических аспектах моделирования. Отметим немаловажную деталь. Абсолютно четкое разделение экспериментального волнового поля на отдельные компоненты – явление довольно редкое. Чаще всего имеем дело со смешанным волнением, сформированного под воздействием множества внешних и внутренних факторов.

Однозначная интерпретация итогового частотно-направленного спектра в таких ситуациях вряд ли возможна, поэтому в заключениях неизбежен элемент субъективности.

В настоящей работе используется спектральная волновая модель MIKE 21 SW Датского Гидравлического института (DHI, 2007). Описание модели и этапы ее верификации подробно изложены в работе (Divinsky, Kosyan, 2017). Отметим лишь основные моменты:

- модель реализует основные физические механизмы зарождения, трансформации и затухания ветрового волнения;
- неравномерная расчетная сетка покрывает всю акваторию Черного и Азовского морей и состоит из 20 тысяч расчетных элементов (рис. 2.7);
- в качестве исходных полей ветра используются данные глобального атмосферного реанализа ERA-Interim, представленного Европейским центром среднесрочных прогнозов (<http://apps.ecmwf.int>). Рассматриваемая область ограничена координатами: по широте – 40°N и 47°N , по долготе – 27°E и 42°E . Пространственное разрешение полей ветра одинаково по широте и долготе и составляет 0.25° , шаг по времени – 3 часа.

В процессе верификации модели использовались экспериментальные данные, полученные с помощью разнообразных устройств (буйковых станций Datawell, ADCP, струнных волнографов, спутниковых наблюдений). Для задач разделения поверхностного волнения на компоненты необходимы исходные экспериментальные данные, позволяющие строить частотно-направленные спектры. В распоряжении авторов имеются исходные материалы волнового эксперимента в районе г. Геленджика, проведенного в 1998-2003 гг. с помощью волнографа Datawell Waverider (Kos'yan et al., 1998). Координаты точки установки: $44^{\circ}30'40\text{ N}$, $37^{\circ}58'70\text{ E}$ (рис. 2.7), глубина места – 85 м.

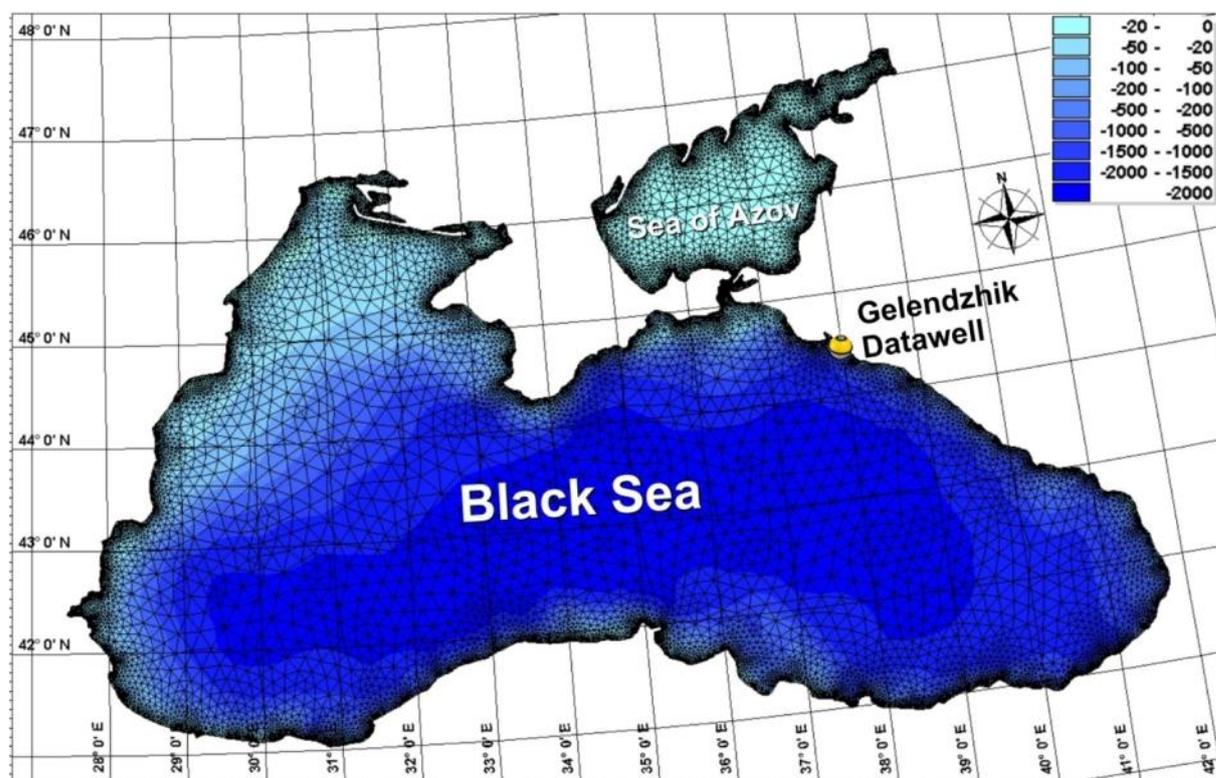


Рис. 2.7 – Расчетная сетка и батиметрическая карта (м) Черного и Азовского морей

Двумерный спектр поверхностного волнения предоставляет возможность исследовать особенности распределения волновой энергии как в частотной области, так и по направлениям распространения и выделить, тем самым, отдельные волновые системы.

Отметим несколько моментов:

- при анализе определяющим является положение локальных пиков двумерной спектральной плотности относительно направления преобладающего ветра;
- на Черном море в отсутствие ветрового воздействия сформировавшаяся зыбь быстро затухает. Это приводит к тому, что, в случае смены атмосферных условий, частотно-направленный спектр может содержать (в дополнение к компоненту ветрового волнения) несколько систем зыби. Как правило, это две системы зыби: первичная по отношению к актуальному ветровому волнению и вторичная. Энергетические показатели вторичной зыби значительно слабее первичной. По этой причине мы не ставим задачу подробной детализации и вкладываем в понятие «зыбь» все поверхностное волнение, направление распространения которого не согласуется с генеральным направлением ветра. При этом, естественно, учитываем превышение спектральной частоты ветровых волн частоту волн зыби.

На рисунке 2.8 приведен пример выделения компонент ветрового волнения и зыби на основе анализа двумерного экспериментального спектра.

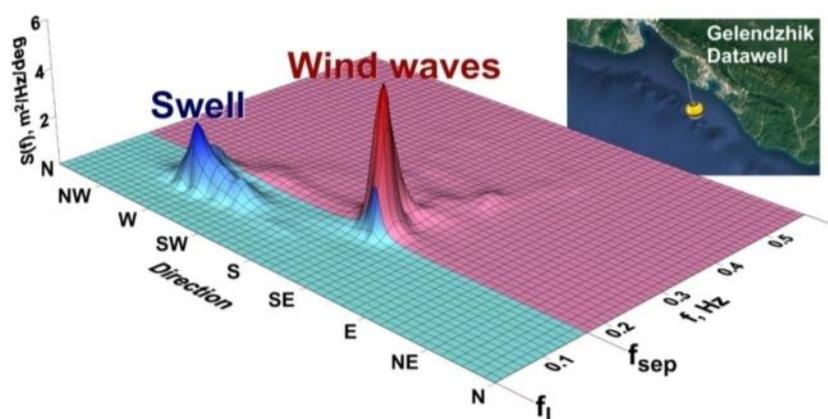


Рис. 2.8 – Выделение компонент поверхностного волнения (21.12.1997 20.00)

В приведенном примере частота разделения компонент волнения составляет 0.16 Гц. Значительные высоты волн находятся путем интегрирования соответствующих участков двумерного спектра $F(f, \theta)$:

$$H_{s,swell} = 4 \sqrt{\int_{f_l}^{f_{sep}} \int_0^{2\pi} F(f, \theta) df d\theta}, \quad H_{s,wind} = 4 \sqrt{\int_{f_{sep}}^{f_u} \int_0^{2\pi} F(f, \theta) df d\theta},$$

В условиях смены направления ветра основная часть энергетического спектра принадлежит ветровому волнению южных румбов со значительной высотой волн 1.42 м. Волны зыби со значительной высотой в 1.11 м сохранили западное направление распространения. Интегрирование всего спектра дает значительную высоту смешанного волнения в 1.80 м.

Рисунок 2.9 дает представление о трансформации двумерного спектра при прохождении циклона и резкой перемене направления ветра. В таких условиях преобладающее ветровое волнение сменяется доминированием волн зыби. Как следует из рис. 2.9, после смены направления ветра с юго-западного на северное итоговое поле волнения сформировано двумя системами зыби (юго-юго-восточного и запад-юго-западного направлений) и ветровыми волнами северных румбов. На рис. 2.9 также приведены оценки значительных высот волн отдельных волновых систем, полученные путем интегрирования частотно-направленных спектров.

Применяя подобную процедуру к двумерным экспериментальным спектрам, можно получить значения интегральных параметров ветрового волнения и зыби за интересующий промежуток времени. Напомним, что энергетические спектры строятся по 20-минутным записям, фиксирующим смещение буя по трем координатам с частотой 1.28 Гц. По условиям эксперимента, регистрация производится каждые 3 часа, при превышении значительной высоты волн порогового значения в 1.5 м – каждый час.

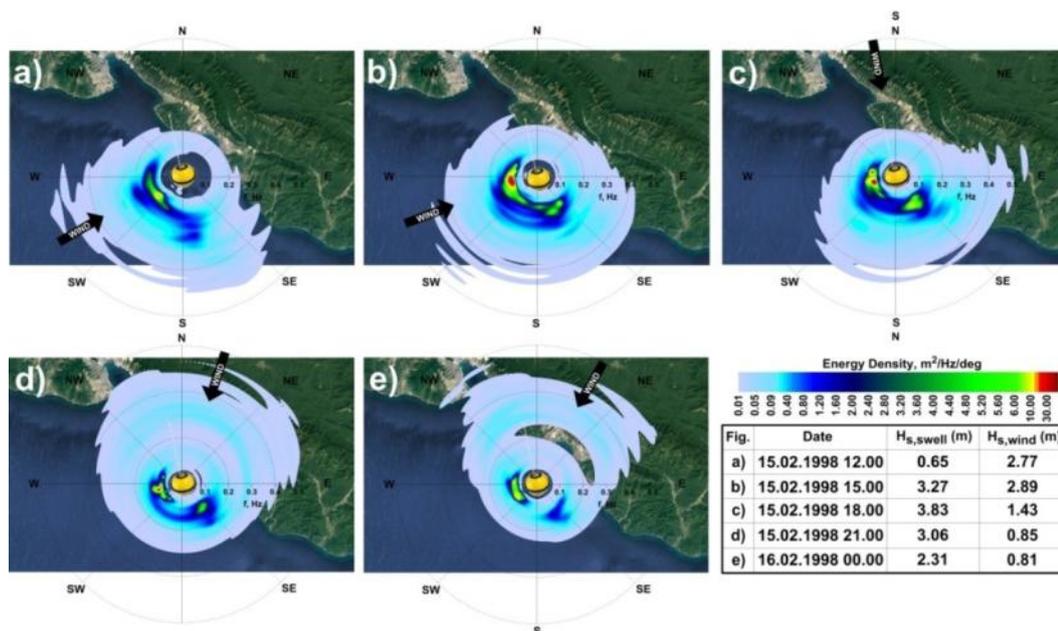


Рис. 2.9 – Экспериментальные частотно-направленные спектры поверхностного волнения и значительные высоты волн связанных с ним компонент зыби и ветровых волн

2.4.3. Настройка волновой модели

Спектральная волновая модель MIKE 21 SW позволяет автоматически разделять моделируемое поле ветрового волнения на отдельные компоненты. При этом качество и физическая обоснованность разделения зависят, в конечном итоге, от пользовательских установок. Отметим некоторые важные моменты.

Модель MIKE 21 SW основана на решении уравнения баланса волновой энергии. Основные физические процессы (ветровая накачка, забурунивание, диссипация энергии вследствие донного трения и обрушения) описываются полуэмпирическими функциями. Полагаем, что в наших условиях эффекты, связанные с донным трением и обрушением волн на мелководье, имеют локальный характер; поэтому параметры, описывающие эти эффекты, в настройке модели не участвуют. Основными калибровочными параметрами являются два коэффициента, C_{dis} и δ_{dis} , определяющие численную интерпретацию процессов потери энергии вследствие забурунивания (другими словами, обрушения волн на глубокой воде). При этом:

- коэффициент C_{dis} определяет общий уровень диссипации и влияет, в первую очередь, на высоту волн.
- параметр δ_{dis} является аналогом весовой функции и, контролируя диссипацию спектральных компонент, влияет на периоды волн. Варьирование δ_{dis} в пределах от 0 до 1 позволяет увеличивать или уменьшать степень диссипации на низких или высоких частотах.

Строго говоря, оба коэффициента не могут быть интерпретированы независимо друг от друга: выбор, например, коэффициента C_{dis} зависит от заданного значения δ_{dis} . Кроме того, оптимальная настройка параметров C_{dis} и δ_{dis} во многом определяется физическими условиями генерации и распространения поверхностного волнения (Siadatmousavi et al., 2011; Christie et al. 2014).

На наш взгляд, корректная настройка спектральной модели в условиях автоматического разделения моделируемого поля ветрового волнения на отдельные компоненты должна обеспечивать:

- соответствие модельных и экспериментальных интегральных характеристик, а также двумерных энергетических спектров, как для всего волнового поля, так и его компонент (зыби и ветрового волнения);

- получение физически обоснованных статистических оценок параметров зыби и ветровых волн.

Проведенные численные эксперименты позволили определить оптимальную конфигурацию спектральной модели:

- 50 спектральных частот распределены в диапазоне периодов от 1.6 до 17.3 с, используя соотношение $f_n = f_0 C^n$ ($f_0=0.055$ Гц, $C=1.05$, $n=1,2,\dots,50$);
- количество дискретных направлений равно 32, т.е. разрешение модели по направлениям составляет 11.25° ;
- значения коэффициентов, определяющих диссипацию энергии вследствие забурунивания: $C_{dis} = 5.5$, $\delta_{dis} = 0.15$;
- разделение компонент волнения производится с использованием критерия, учитывающего «возраст» волн.

В качестве примера приведем результаты автоматического разделения компонент поверхностного волнения за декабрь 1997 г. (рис. 2.10).

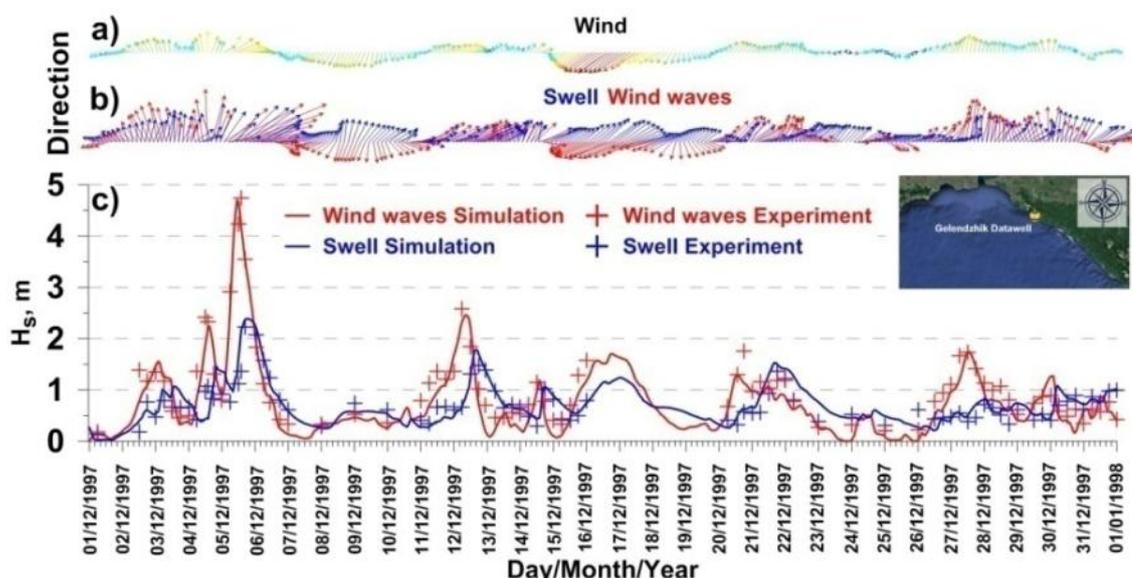


Рис. 2.10 – Сравнение модельных и экспериментальных параметров компонент поверхностного волнения за декабрь 1997 г. в точке постановки буйковой станции Gelendzhik Datawell

(а) – генеральное направление ветра; (б) – направления распространения зыби (синий вектор) и ветрового волнения (красный вектор); (с) – расчетные и экспериментальные значительные высоты компонент волнения

Как следует из рис. 2.10, спектральная модель довольно уверенно разделяет компоненты зыби и ветрового волнения. Ограниченное число экспериментальных календарных сроков, для которых произведено разделение, связано с тем обстоятельством, что одной из целей предлагаемого исследования является демонстрация возможностей спектральной модели ДНІ по разделению компонент. Мы не стали использовать существующие алгоритмы разделения экспериментальных спектров, которые применяются к большим массивам данных, поскольку реализованные в них подходы к идентификации спектральных пиков (относительные высоты, расстояния между ними и т.п.) не могут быть универсальными и требуют собственной верификации. Выборочный анализ двумерных экспериментальных спектров осуществлен вручную, при этом учитывались генеральные характеристики ветра.

Рассмотрим результаты моделирования более детально (рис. 2.11).

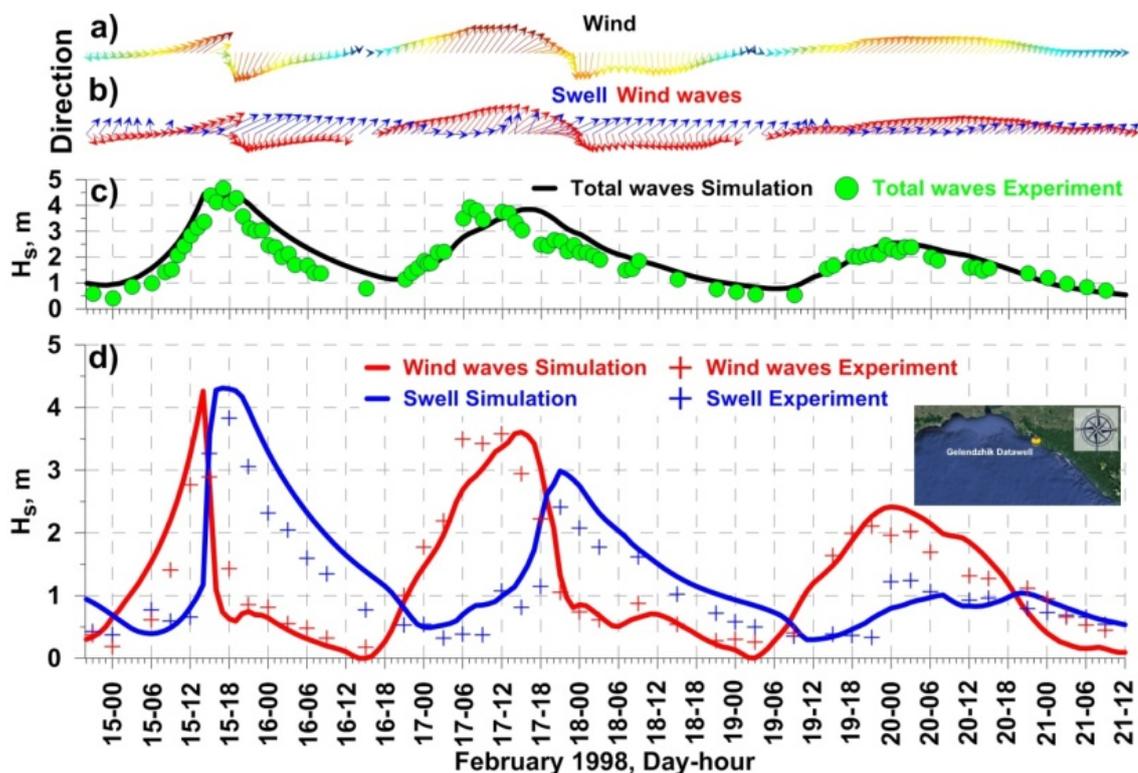


Рис. 2.11 – Сравнение модельных и экспериментальных параметров компонент поверхностного волнения за 15-21 февраля 1998 г. в точке постановки буйковой станции Gelendzhik Datawell

(а) – генеральное направление ветра; (б) – направления распространения зыби (синий вектор) и ветрового волнения (красный вектор); (с) – расчетные и экспериментальные значительные высоты суммарного волнения; (д) – расчетные и экспериментальные значительные высоты компонент волнения

Уточним, что значительная высота суммарного волнения на рис. 2.11 определяется как $\sqrt{H_{s,swell}^2 + H_{s,wind}^2}$. Атмосферная ситуация за промежуток времени с 15 по 21 февраля 1998 г. несколько раз кардинально менялась, при этом условия формирования зыби были несколько различны. 15-16 февраля резкая смена сильного юго-западного ветра на северо-восточный привела к образованию зыби со значительными высотами волн, сравнимыми с высотами ветрового волнения (трансформация экспериментального двумерного спектра приведена на рис. 2.9). 17-18 февраля резкой смены ветра не произошло, поэтому в масштабах шторма доминировало ветровое волнение. 19-20 февраля наблюдалось плавное нарастание и ослабление ветра устойчивого юго-западного направления, что, в целом, не способствовало развитию волн зыби. Расчетные двумерные энергетические спектры для выбранных сроков 15-16 февраля приведены на рис. 2.12.

Из рис. 2.12 следует, что модельные спектры адекватно отражают физическую картину развития поверхностного волнения, связанной с резкой сменой направления ветра и, в целом, соответствуют экспериментальным спектрам за те же сроки (рис. 2.9). Некоторые неточности связаны с локализацией вторичной зыби юго-западного направления.

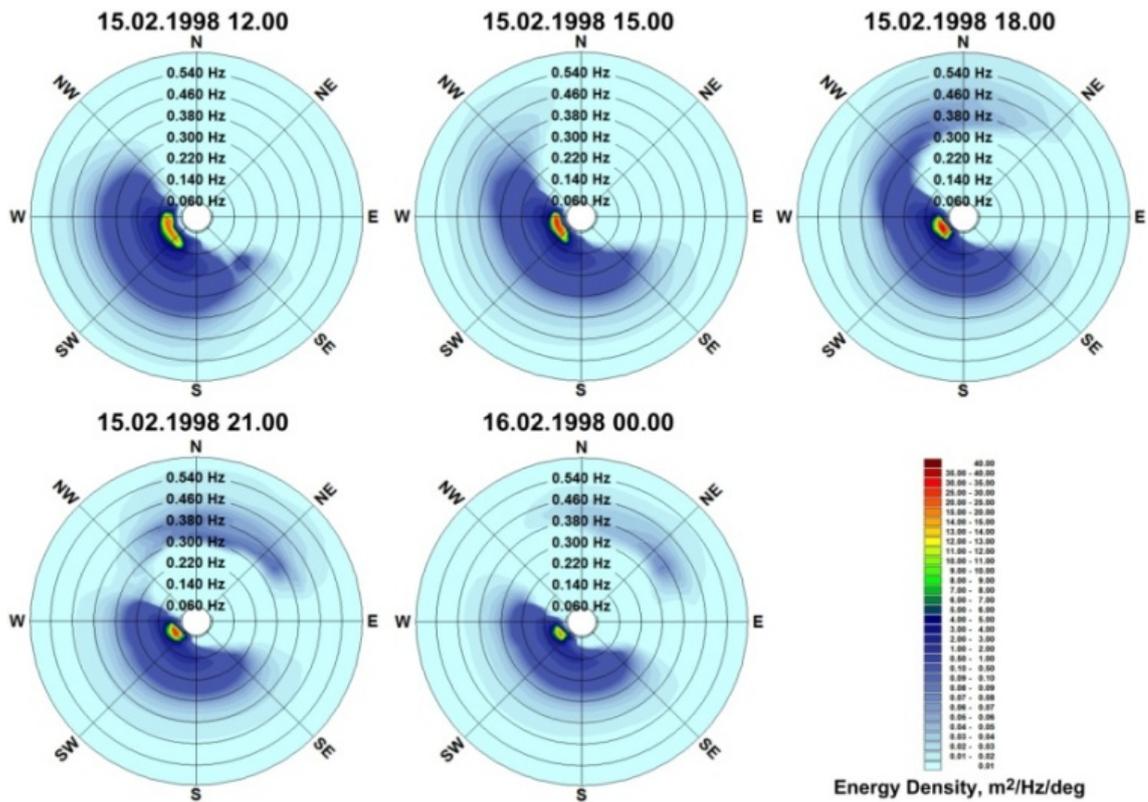


Рис. 2.12 – Модельные частотно-направленные спектры поверхностного волнения 15-16 февраля 1998 г.

На рис. 2.13 приведены графики в виде гистограмм параметров поверхностного волнения за зимний период с 01.12.1997 по 31.03.1998. Здесь: (a), (b), (c) – данные моделирования с разделением компонент волнения; (d), (e), (f) – материалы моделирования и экспериментальные данные для общего волнения.

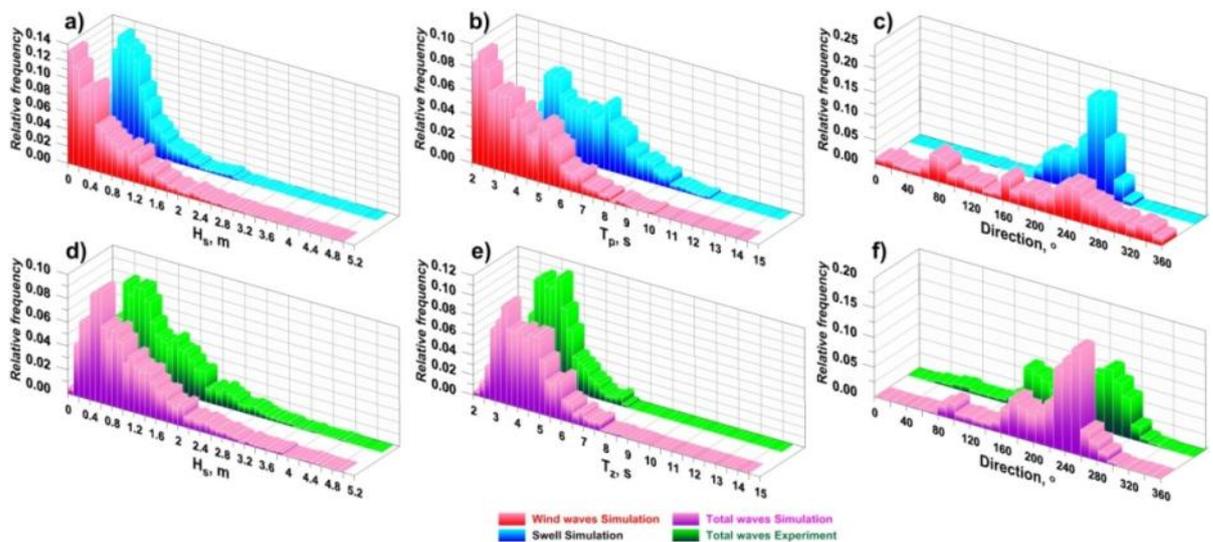


Рис. 2.13 – Статистические распределения параметров ветрового волнения за период 01.12.1997-31.03.1998. (a), (b), (c) - компоненты волнения; (d), (e), (f) - общее волнение

Обобщим представленные на рис. 2.13 результаты:

- значительные высоты волн зыби (рис. 2.13a) составляют, в среднем, 0.5-1.0 м; распределение периодов зыби – двухпиковое (рис. 2.13b), пики приходятся на периоды порядка 4 и 7 с; направление волн зыби (рис. 2.13c) ограничено сектором 170-270°;
- спектральная модель, в целом, корректно воспроизводит основные статистические свойства общего волнения, включая значительные высоты волн (рис. 2.13d) и средние периоды (рис. 2.13e);
- наблюдается некоторое превышение частоты повторяемости юго-западных направлений волнения (рис. 2.13f). Это происходит, в некоторой степени, за счет недооценок ветров северо-восточных румбов. Сильные северо-восточные ветра (бора) являются особенностью рассматриваемой прибрежной зоны и не вполне адекватно воспроизводятся глобальным реанализом ERA-Interim.

Таким образом, осуществлена настройка спектральной модели, адекватно разделяющей волновое поле на отдельные компоненты. Модельные частотно-направленные спектры волнения, в целом, соответствуют двумерным экспериментальным спектрам. Статистические особенности интегральных параметров зыби и ветрового волнения физически обоснованы (рис. 2.13). Некоторым недостатком модели является переоценка вклада в общее волнение компонент зыби в условиях резкой смены ветра.

Отметим важную деталь. Настроечные параметры, использующиеся при описании процессов диссипации волновой энергии вследствие забурунивания, получены в результате анализа экспериментальных данных для северо-восточной части Черного моря. Сложно сказать, насколько они универсальны для всей акватории моря. Препятствием к разрешению этого вопроса является слабое покрытие Черного моря экспериментальными волновыми станциями, позволяющими получать основную характеристику волнения – двумерные энергетические спектры. Имея в распоряжении данные сети наблюдений, учет локальных особенностей (и существенное уточнение модели) возможен путем построения пространственных карт распределения необходимых параметров.

Осознавая указанные ограничения, попытаемся в первом приближении оценить особенности распространения компонент поверхностного волнения на Черном море.

2.4.4 Климатические особенности распределения компонент волнения по результатам моделирования

В результате проведенной работы получен массив данных, состоящий из полей рассчитанных параметров компонент ветрового волнения Черного моря с временным шагом 1 час и охватывающий период в 38 лет (с 1979 по 2016 годы). Массив расчетных характеристик включает в себя (отдельно для зыби, ветровых волн и общего волнения):

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

Мощность нерегулярного ветрового волнения может быть определена как функция квадрата значительной высоты волн и энергетического периода (Boyle, 2004) и выражается в киловаттах на метр волнового фронта. Оценка энергетической мощности ветрового волнения полностью зависит от корректности и адекватности спектральной модели при воспроизведении всех стадий развития волнения. Мощность является функцией одновременно двух основных интегральных параметров ветрового волнения (высоты и периода) и характеризует, тем самым, энергетическую ценность штормов.

На рис. 2.14 и 2.15 представлены пространственные распределения средних за 2007-2016 гг. мощностей чисто ветрового волнения и зыби. Осреднение производилось на прямоугольной сетке со сторонами 12.5x11.5 км.

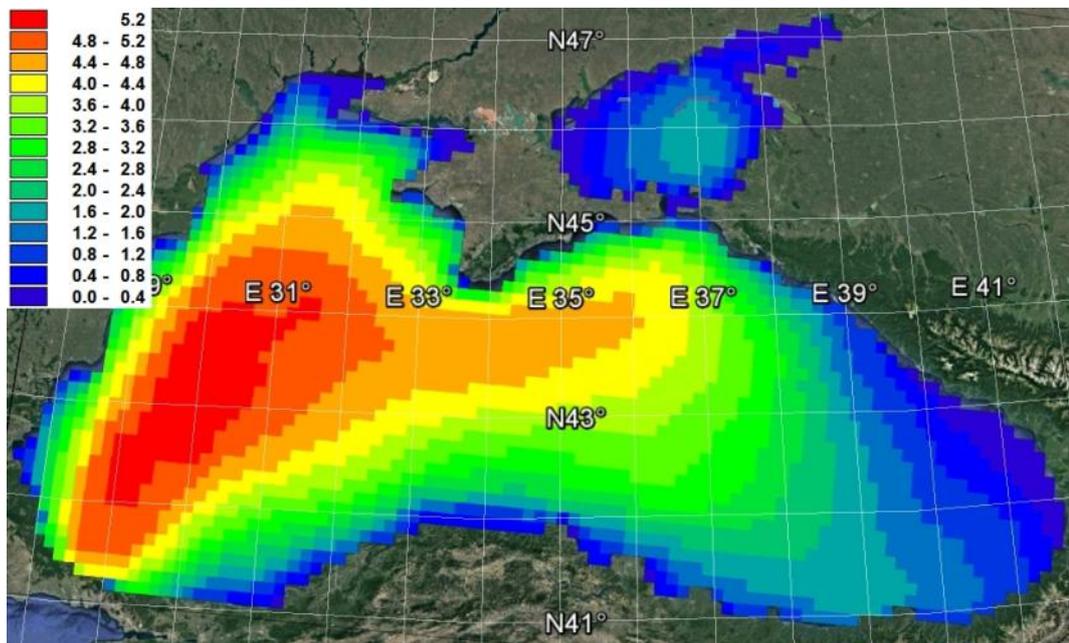


Рис. 2.14 – Средняя за 2007-2016 гг. мощность чисто ветрового волнения (кВт/м)

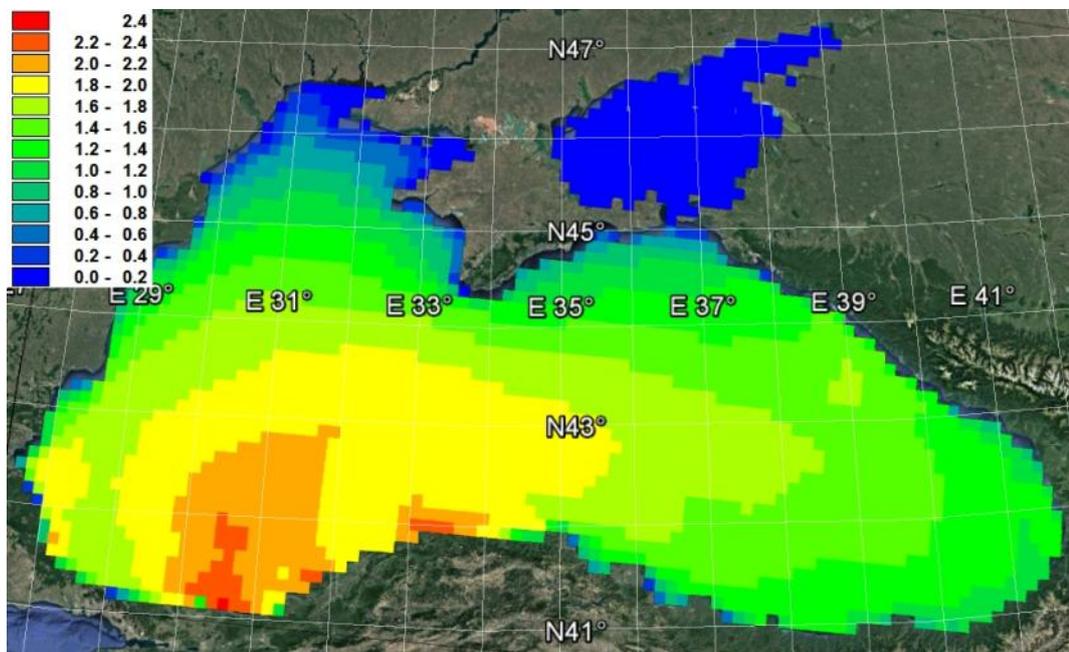


Рис. 2.15 – Средняя за 2007-2016 гг. мощность зыби (кВт/м)

Наибольшая мощность чисто ветрового волнения проявляется в западной части моря, образуя ярко выраженный максимум пространственного распределения (рис. 2.14). Область довольно высоких значений мощности простирается в меридиональном направлении с запада на восток, огибая Крымский полуостров. Осредненная мощность волн зыби распределена более равномерно (рис. 2.15), локальные пики мощности наблюдаются в юго-западной и южной частях Черного моря. В целом, зыбь распространена повсеместно, за исключением мелководных заливов в северной части моря.

Предварительный анализ особенностей волнового климата Крыма выполнен для пяти характерных точек, расположенных в западной и южной части прибрежной зоны полуострова (рис. 2.16). Локальная глубина в каждой точке – 30 м.



Рис. 2.16 – Положение характерных точек вдоль побережья Крыма

На основе полученного 38-летнего массива данных для пяти точек:

- построены розы волнения и зыби;
- получены распределения плотности вероятности значительных высот волн и периодов пиков спектров;
- оценены вклады волн зыби в общую энергетику процесса.

Повторяемости по направлениям ветровых волн и зыби представлены на рис. 2.17 и 2.18. Отметим особенности пространственного распределения энергии поверхностного волнения:

- на входе в Каркинитский залив (точка 1) наибольшей повторяемостью обладает ветровое волнение СВ и ЮЗ румбов, зыбь – ЗЮЗ направления;
- на морской границе Каламитского залива (юго-западное побережье, точка 2) наблюдается волнение разных направлений, при этом преобладает ветровое волнение СВ, СЗ и ЮЗ направлений, также ЮЗ зыбь. Ветровое волнение ЮЗ направлений может достигать значительной мощности (100 и более кВт/м);
- на южной оконечности полуострова (точка 3) наблюдается преобладание двух выраженных направлений ветровых волн, ЮВ и СЗ румбов. Зыбь занимает практически весь ЮЗ сектор;
- юго-восточное побережье между мысами Аю-Даг и Мегаком (точка 4) подвержено, в основном, волнению ВСВ, В и ЮЗ румбов, а также зыби ЮВ направлений;
- в районе Феодосийского залива (точка 5) преобладает ветровое волнение СВ и ЮЗ направлений. Наиболее распространенная зыбь – ЮЮВ направления, наиболее мощная зыбь – ЮЮЗ румбов.

На рис. 2.19 представлены гистограммы значительных высот волн (h_s) и периодов пиков спектров (t_p) смешанного волнения для выбранных пяти точек. На врезках к каждому рисунку отображены среднегодовые вклады волн зыби в общую энергетику поверхностного волнения.

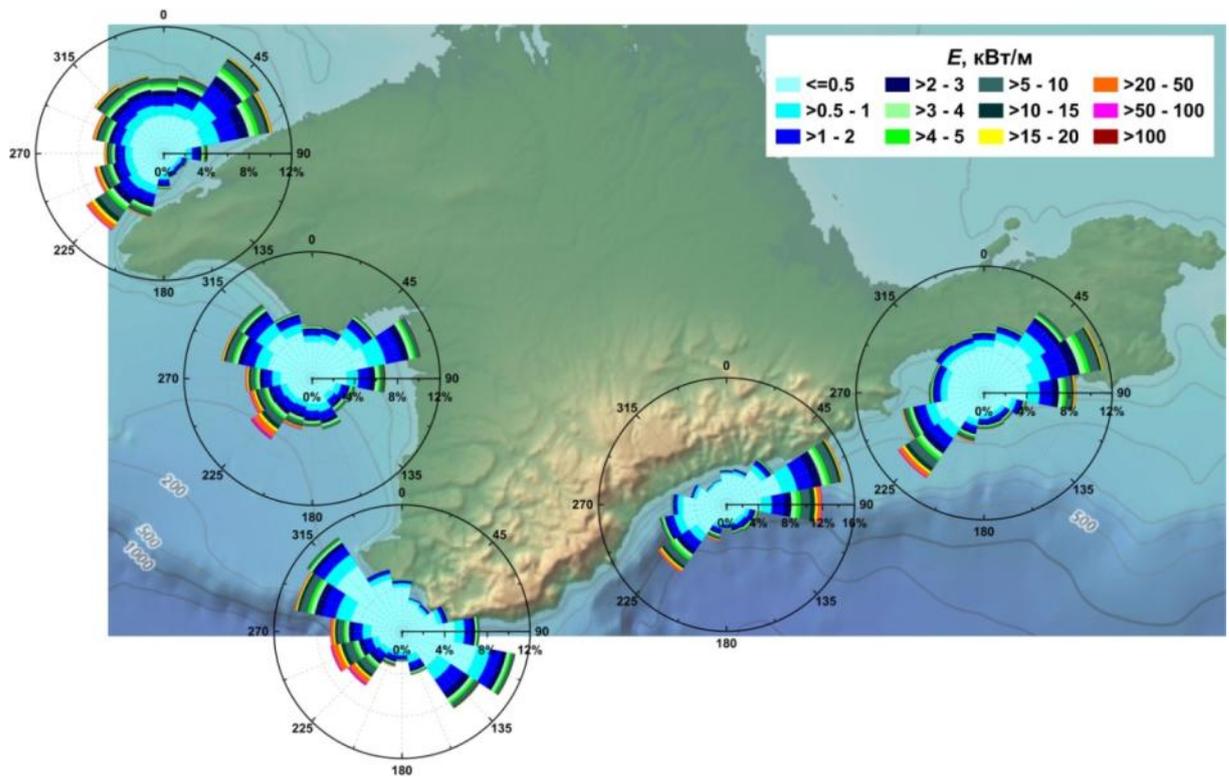


Рис. 2.17 – Розы мощности ветрового волнения (кВт/м) для пяти характерных точек за период 1979-2016 гг.

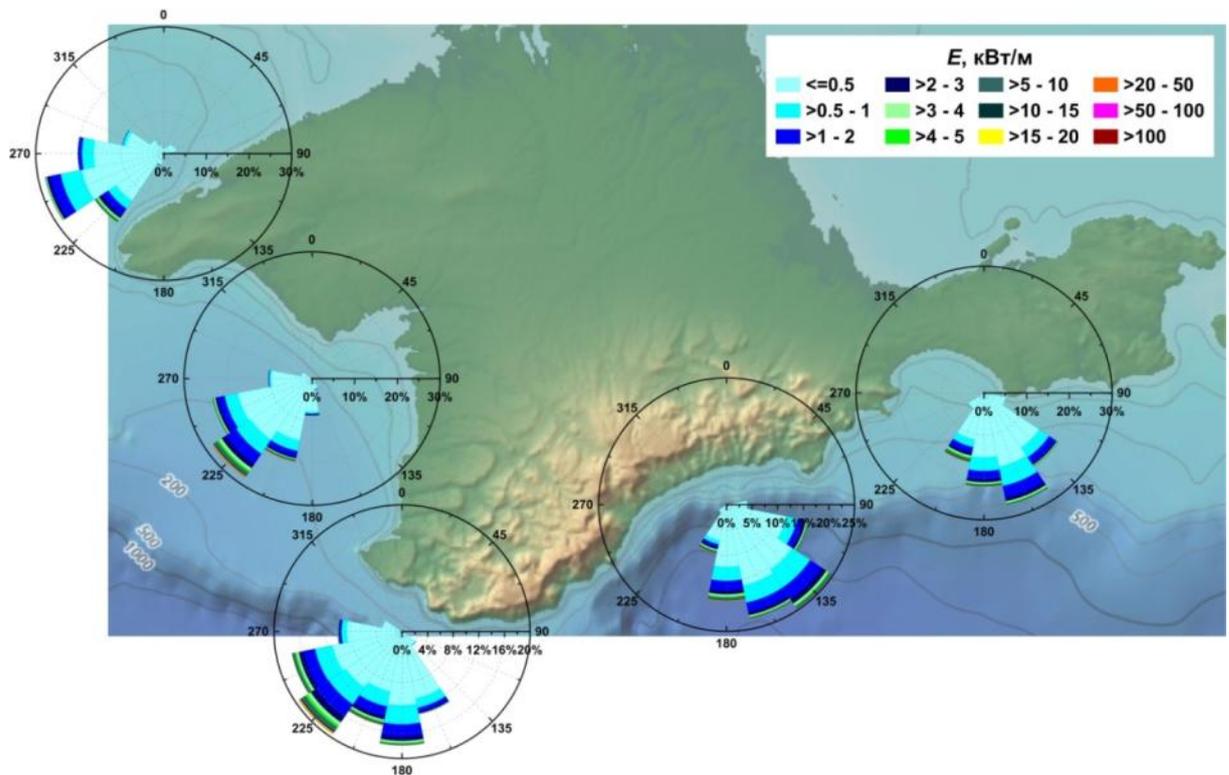


Рис. 2.18 – Розы мощности зыби (кВт/м) для пяти характерных точек за период 1979-2016 гг.

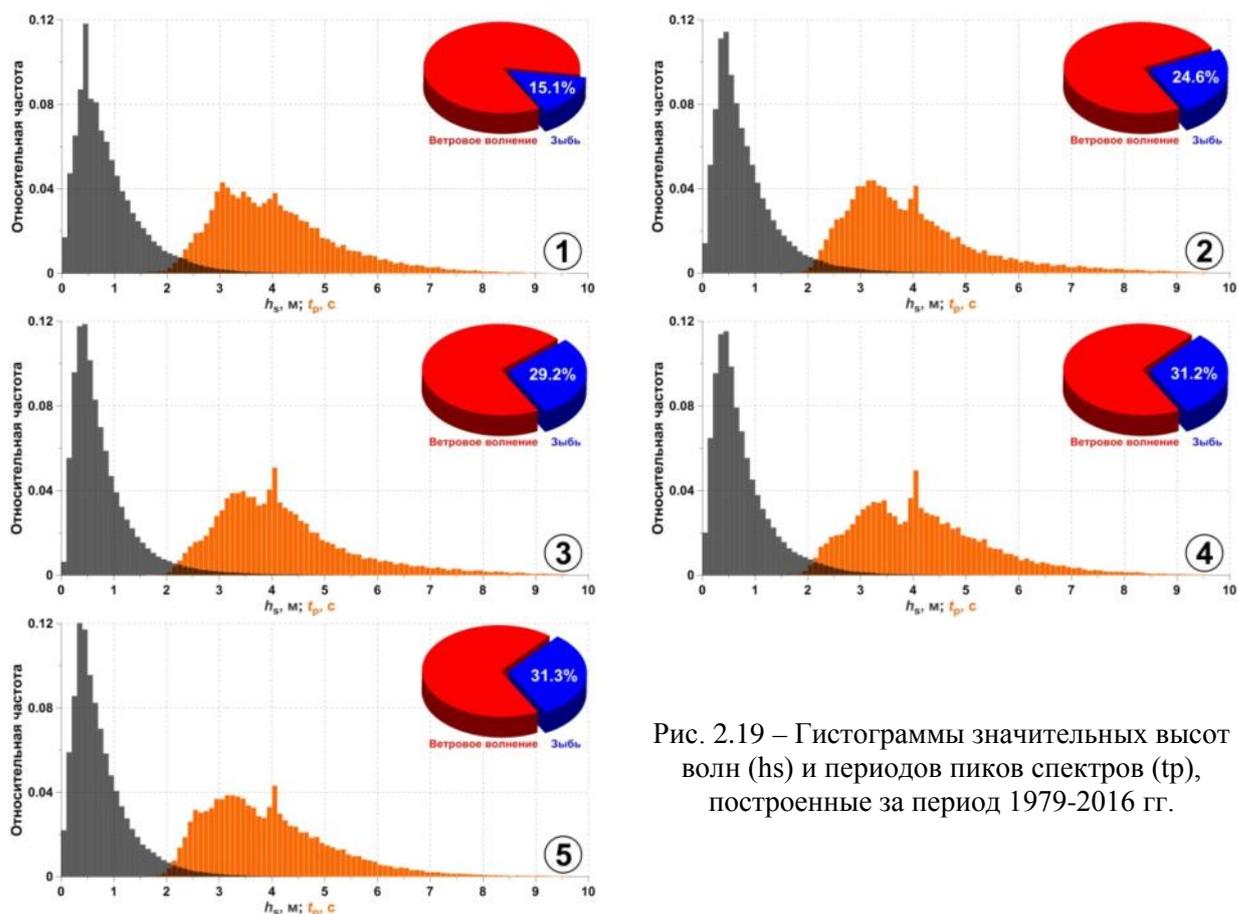


Рис. 2.19 – Гистограммы значительных высот волн (h_s) и периодов пиков спектров (t_p), построенные за период 1979-2016 гг.

Как следует из рис. 2.19, в прибрежной зоне Крымского полуострова наибольшую повторяемость имеет поверхностное волнение со значительными высотами волн до 1 м. Распределение периодов носит двухпиковый характер, при этом пики соответствуют двум системам волнения: чисто ветрового волнения (3.0-3.5 с) и зыби (~4 с). Вклад волн зыби в суммарную волновую энергию поверхностного волнения нарастает по направлению с западного побережья к восточному. В точке 1 доля зыби (в среднегодовом балансе) составляет порядка 15%, на юго-восточном побережье этот вклад уже превышает 30%.

2.4.5 Выводы по разделу

Целью этапа 2017 г. явилась 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. Основные результаты проделанной работы:

- определены оптимальные настройки спектральной волновой модели для автоматического разделения компонент волнения;
- модель корректно воспроизводит основные интегральные характеристики смешанного волнения. Модельные частотно-направленные спектры волнения, в целом, соответствуют экспериментальным двумерным спектрам. Статистические особенности интегральных параметров зыби и ветрового волнения физически обоснованы;
- получены оценки особенностей пространственного распределения мощностей ветрового волнения и зыби в прибрежной зоне Крымского п-ова за последние 38 лет.

Полученный банк данных параметров ветрового волнения на акватории Черного моря за период с 1979 по 2016 гг. в дальнейшем будет использоваться при моделировании литодинамических процессов в прибрежной зоне Крыма, а также анализе экстремальных волновых событий.

2.5 ВЫБОР ТЕСТОВОГО УЧАСТКА

Как видно из представленного выше обзора современного состояния аккумулятивных берегов Крымского полуострова, на большем их протяжении они находятся в удовлетворительном состоянии. Исключение составляют районы, где на динамику береговой зоны оказало влияние вмешательство человека (антропогенное воздействие). Это прежде всего район Евпаторийского побережья, где непродуманное строительство берегозащитных и портовых сооружений и их неправильная эксплуатация привели к существенному сокращению пляжей и необходимости в многомиллиардных вложениях, чтобы их восстановить. Такое же положение создалось и на аккумулятивных берегах Сакской пересыпи, где в дополнение к многолетнему изъятию пляжеобразующего материала в береговой зоне было построено поперечное берегу бетонное сооружение. Откликом на это воздействие также явилось отступление береговой линии, изменение рельефа береговой зоны. В целом для современного состояния аккумулятивных берегов Крыма характерен острый дефицит пляжеобразующего материала, вызванный:

1. сокращением поступления твердых наносов из рек, вследствие их зарегулирования;
2. закрытием клифов различными сооружениями (вследствие чего в береговую зону не поступает пляжеобразующий материал);
3. незаконным отбором песка из береговой зоны;
4. резким сокращением популяций донных моллюсков, являющихся источником пляжеобразующего материала.

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. Все перечисленные объекты обладают высокими рекреационными качествами.

Для успешного решения целей, поставленных в проекте, нам необходимо изучение морской береговой аккумулятивной геосистемы, находящейся в состоянии, максимально близком к естественному, где в полной мере проявляются действующие в настоящий момент природные факторы. Как уже отмечено выше, в пределах Крымского полуострова сохранилось мало литодинамических систем, не затронутых в той или иной степени антропогенным воздействием. Некоторые аккумулятивные береговые геосистемы Крыма, фактически, сейчас представляют собой природно-техногенные системы, где изучение природных процессов затруднено или вовсе невозможно. По этой причине пришлось отказаться от использования в качестве тестового объекта аккумулятивных форм Каламитского залива (близ г. Евпатория) и Феодосийского заливов. От некоторых объектов (преимущественно в Восточном Крыму) пришлось отказаться ввиду их труднодоступности (по разным причинам) или слабой изученности – так как во временных рамках текущего проекта не удастся выполнить полный комплекс исследований и получить все необходимые данные. От выбора тестового объекта на азовском побережье Крыма было принято решение отказаться, поскольку природные условия и процессы на нем существенно отличаются от условий уже изученной Анапской пересыпи.

Отдельно стоит вопрос для района северо-западного Крыма, включая Бакальскую косу, отличающийся наибольшей для всего Крыма изменчивостью береговой линии. В отличие от других районов, где воздействие природных факторов относительно невелико, ввиду мелководности этого региона, влияние на него изменчивости природных факторов очень значительно. Так в течение последнего столетия, в условиях подъема уровня Черного моря, наблюдался процесс отделения морских заливов, превращения их в лагуны

с закрытием пересыпей. Береговая линия интенсивно отступала, поглощая населенные пункты (Сергеевка, Андреевка). Параллельно изменялось количество и площадь Лебяжьих островов. Последнее зримое изменение в этом районе – процесс роста дистальной части Бакальской косы и отделение её в 2010 г. с образованием нового острова. Такое отделение вызвало полное изменение лито и гидродинамических условий в этом районе, последствия которых практически не изучены.

В районе Бакальской косы находятся три заповедных территории:

Лебяжий острова – орнитологический филиал Крымского природного заповедника (с 1949 г.).

Бакальская коса – региональный ландшафтный парк (с 2000 г.), входящий в состав ИВА-территории BirdLife International и Рамсарских водно-болотных угодий (ВБУ) "Каркинитский и Джарылгачский заливы".

Акватория Черного моря к востоку от Бакальской косы – ботанический заказник «Малое филлофорное поле» (с 2012 г.).

Кроме того, наличие аккумулятивного тела Бакальской косы и ее подводной отмели в значительной степени определяет гидрологический и гидрохимический режимы восточной мелководной части Каркинитского залива. Таким образом, геосистема косы имеет важнейшее природоохранное значение для всего региона.

В районе Бакальской косы расположен молодежный лагерь «Таврида», где проводится масштабный Всероссийский образовательный форум «Таврида», который уже дважды посещал президент России.

Ввиду этого и учитывая, что район является перспективной рекреационной зоной, прогноз дальнейшего развития этого участка побережья приобретает особое значение.

На протяжении нескольких десятилетий специалистами МГИ проводится изучение и мониторинг компонентов геосистемы Бакальской косы. За это время накоплен значительный фактический и научный материал, позволяющий решить поставленные в настоящем проекте задачи наиболее эффективно.

Таким образом, для детального исследования аккумулятивных береговых геосистем неприливногo моря в пределах Крымского полуострова выбран тестовый участок – Бакальская коса с прилегающим побережьем и подводным склоном.

Следует отметить, что многие другие участки аккумулятивных берегов Крыма так же представляют большой интерес для изучения, поэтому, на следующем этапе на некоторых из них будут выполнены исследования, позволяющие оценить региональные особенности развития геосистем аккумулятивных берегов.

Часть 3
ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕСТОВОГО УЧАСТКА
БЕРЕГОВЫХ АККУМУЛЯТИВНЫХ ГЕОСИСТЕМ В ПРЕДЕЛАХ КРЫМСКОГО
ПОЛУОСТРОВА

3.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОСИСТЕМЕ БАКАЛЬСКОЙ КОСЫ И ПРИЛЕГАЮЩЕМ УЧАСТКЕ
СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Отмелый абразионно-аккумулятивный берег северо-западного Крыма между Бакальской косой и Лебяжьими островами в вершине Каркинитского залива один из самых изменчивых берегов полуострова. Бакальская коса (рис. 3.1) морфологически представляет собой свободную двойную аккумулятивную форму длиной около 8 км, близкую к типу двойных серповидных баров (рис. 3.2). Обе ее ветви своей корневой частью примыкают к интенсивно размываемому клифу, сложенному толщей бурых плиоценовых и четвертичных глин. Заключенная между двумя ветвями косы лагуна (Бакальское соленое озеро) лежит на продолжении небольшой балки, устьевая часть которой выполнена аллювием. В бортах этой балки из-под толщи глин выходят горизонтально залегающие неогеновые известняки и мергели. Эти же породы присутствуют в прибрежной части дна в 3 км к западу от косы. 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.



Рис. 3.1 –Бакальская коса из космоса

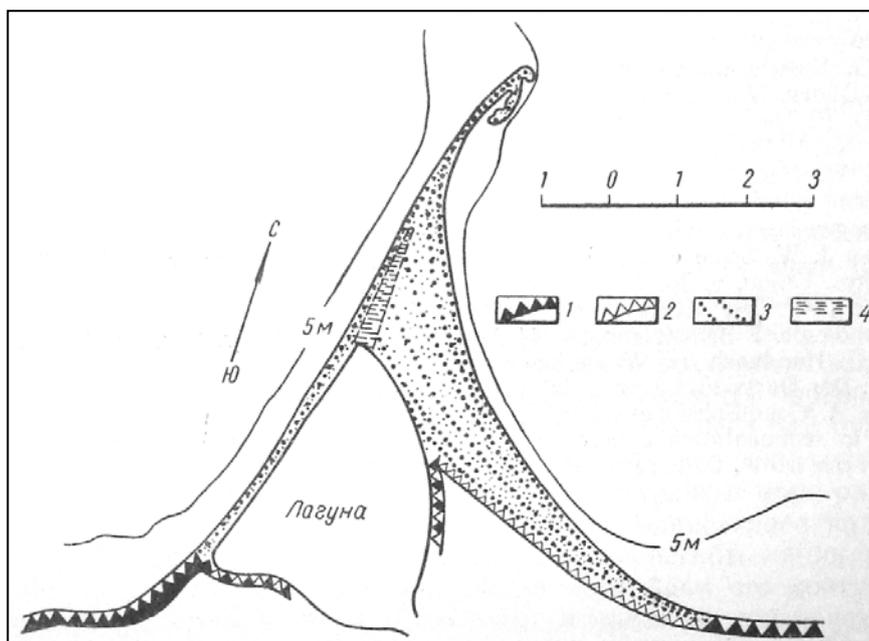


Рис. 3.2 – Картограмма строения Бакальской косы (по Зенковичу (Зенкович, 1955)): 1 – активный клиф; 2 – отмерший клиф; 3 – поверхность аккумулятивной формы и направление береговых валов; 4 – заболоченное пространство

Длина береговой линии Бакальской косы, включая прилегающие террасы, составляет почти 18,2 км (здесь и далее приводятся характеристики до отделения дистальной части). 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 25-30 м). Ширина западной пересыпи Бакальского озера 60-80 м, восточной – 1200-1350 м. Площадь и глубины озера часто меняются в связи с изменчивостью его водного баланса. В засушливое лето 2007 года урез воды в озере отступил на 100-200 м по сравнению с весной этого же года. Судя по значениям солености, прямые измерения которой были проведены в апреле и августе этого же года, питание озера за счёт фильтрации морских вод (через пересыпь) довольно активно; не исключен вклад в его питание и грунтовых вод. В апреле 2007 года значения солености в море составили 16,73 ‰, а в Бакальском озере 31,92 ‰. В августе соответствующие значения составили 17,21 ‰ и 50,73 ‰. Обычно значения солености в отделенных от моря лагунах существенно больше и составляют 50-100 ‰. В августе 2000 и 2001 гг. диапазон изменений солености в водоемах Бакальской косы составлял 18-300 ‰, а в августе 2004 г. соленость выше 85 ‰ не отмечена. Правда, здесь речь о всех водоемах, включая совсем малые. В Бакальском озере выявлено 11 родов и 44 вида донных цианобактерий. Большинство видов, а также роды *Cyanothrix*, *Phormidium* и *Microcoleus* отсутствуют в списках черноморского биоразнообразия. На дистальной оконечности косы переливы штормовых волн и соответствующие малые водоемы чаще всего бывают с восточной стороны оголовка. На западной стороне они обнаруживаются редко.

Бухту окаймляет вытянутый на 11 км абразионный берег, сложенный легко размываемыми четвертичными суглинками. Отложения срезаны вертикальным уступом размыва, снижающимся в северо-восточном направлении от с. Аврора (рис. 3.3) до бывшего с. Сергеевка, разрушенного морем. Контур оконечности косы и прилегающие участки морского дна испытывает неперіодические изменения.

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.

Рис. 3.3 – Берег у с. Аврора, на заднем плане виден обрывистый клиф



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.

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 (рис. 3.4). 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* (рис. 3.5). По свидетельству местных жителей в течение 90-х годов XX века произошло резкое увеличение количества морской растительности. 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.



Рис. 3.4 – Берег у примыкания восточной части Бакальской косы к коренному берегу



Рис. 3.5 – Скопления отмершей зостеры

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 zostера. 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.

Интенсивная абразия клифа, разрушение дернового покрова на пересыпи, выходы озерных илов на дне перед фронтом пересыпи и тот факт, что южный конец пересыпи примыкает к древнему, ныне отмершему озерному клифу, – все эти явления независимо друг от друга показывают, что пересыпь перемещается к востоку, сужая лагуну и срезая западную часть восточной ветви косы.

Состав материала наносов показывает, что коса не получает питания со дна перед своим фронтом (за исключением, возможно, северной ее части). Этот материал может поступать сюда только путем продольного берегового перемещения с запада. Он возникает в результате разрушения коренных пород к западу от косы, а также как продукт размыва глин, которые при устьях балок содержат в себе известняковую щебенку.

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.

3.2 ФОРМИРОВАНИЕ БАКАЛЬСКОЙ КОСЫ И ПОТОКИ НАНОСОВ

В 1945 г. район Бакальской косы был обследован в ходе работ Черноморской экспедиции Лаборатории океанологии Академии наук СССР (Зенкович, 1958а). Проведенные тогда исследования позволили сделать выводы о том, что:

- в период абразии западной оконечности ныне отмершего клифа восточная часть косы или совсем не существовала или была расположена далее к западу;
- точка примыкания восточной ветви косы в последовательные фазы ее роста смещалась к востоку вдоль ныне отмершего клифа, причем направление ее внешнего (восточного) края отклонялось от северо-западного к северному.

По данным экспедиции 1945 года обломочный материал со дна на большую часть внешнего края восточной ветви не поступал. Однако высказывалось предположение, что материал может частично поступать на берег у основания аккумулятивной террасы или с прибрежной части дна, расположенной восточнее точки примыкания аккумулятивной террасы к активному клифу (путем продольного берегового перемещения). В то же время нахождение на восточном берегу оолитов, известнякового гравия и гальки показывало, что значительная часть материала поступает с запада в обход оконечности косы.

Бакальская коса относится к району с активной динамикой побережья. Поперечный профиль Бакальской банки и характер покрывающих ее наносов показывают, что банка представляет собой аккумулятивную форму, образованную в результате поперечного перемещения наносов по дну Каркинитского залива с запада на восток. В (Зенкович, 1955), рассматривая строение коренного берега, отдельных частей косы и подводной банки, приходят к последовательности стадий ее образования и динамики в следующем виде.

Зачаточная форма современной косы была расположена к северу от теперешнего положения. Строение коренной суши показывает, что береговая линия не имеет и не могла иметь на рассматриваемом участке какого-либо перегиба в плане. Следовательно,

причиной аккумуляции наносов могла быть только внешняя блокировка берега. Единственным блокирующим элементом, расположенным в этом районе, является Бакальская банка. Поскольку существуют признаки ее перемещения к востоку, постольку начальная форма образования косы находилась к западу от ее современного положения (рис. 3.6).

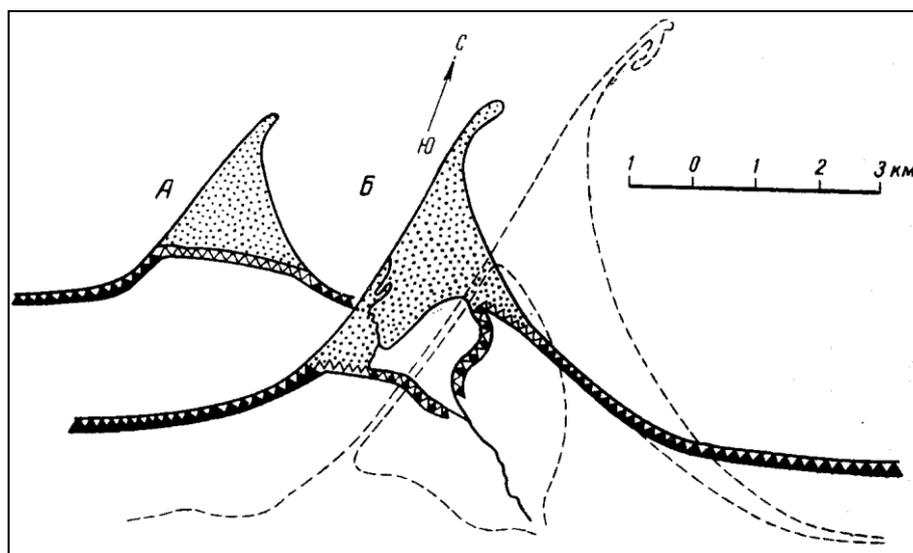


Рис. 3.6 – Реконструкция двух стадий образования Бакальской косы (по Зенковичу (Зенкович, 1955)): А – зачаточная стадия; Б – более поздняя стадия. Штриховой линией обозначен контур современного берега. Условные обозначения см. рис. 3.2

В сходных топографических условиях для образования аккумулятивных форм подобного строения достаточно блокирующего влияния противоположного берега залива и уменьшения глубины к его вершине. Поэтому существование банки является случайным моментом, благоприятствующим образованию косы именно в данной точке берега. Сделать обратное заключение, т.е. считать, что коса вызвала образование банки нельзя, т.к. этому противоречит направление банки, составляющее прямой угол с осью Каркинитского залива, что исключает возможность продольного перемещения наносов. Скорее всего, обе формы образовались одновременно. По мере того как при поперечном перемещении наносов на дне создавалась банка, двигавшийся у берега с запада поток наносов терял емкость все в большей степени, пока, наконец, не достиг в этом месте полного насыщения. После этого начал строиться аккумулятивный выступ, тело которого создавало на расположенном восточнее участке берега волновую тень (для волн западных румбов). Поэтому в защищенном пространстве должен был образоваться поток наносов, вначале очень малой протяженности, подававший материал с востока и заполнявший угол между растущей основной формой и собственно берегом.

Таким образом, на первом этапе своего развития аккумулятивная форма была сплошной, т.е. не заключала в своем теле лагуны (нынешнего Бакальского озера). Существенный момент – очертание линий древнего клифа, примыкающего к корневой части косы. Абразионный берег по обе стороны от косы отступает. Перемещаясь с запада на восток, коса консервирует все новые участки клифа с восточной стороны, причем в каждый новый промежуток времени она захватывает участок клифа, уже успевший отступить к югу еще на некоторое расстояние. Естественно, что западный участок консервированного клифа, который был изолирован от действия волн раньше, чем все остальные, занимает положение, соответствующее общей линии абразионного берега в период, наиболее удаленный от рассматриваемого момента. Кроме того, и сам активный клиф отступает в части, расположенной вблизи косы, с неодинаковой скоростью. Поток береговых наносов по мере приближения к телу косы все более увеличивается в мощности

и у корня косы является почти насыщенным. Следовательно, скорость абразии коренного берега в направлении корня косы понижается, и в результате с обеих сторон от косы линия активного клифа образует плавные изгибы. Существенным фактором является также абразионная деятельность вдоль берегов Бакальского озера, которая идет за счет действия возбуждаемых в ней мелких волн. Глины представляют собой легко размываемый материал и создают высокие активные клифы вдоль берега этого небольшого по своим размерам водоема.

На основании изложенных соображений схема строения зачаточной аккумулятивной формы, из которой развивалась современная коса, соответствует позиции А на рис. 3.6.

Дальнейшее развитие Бакальской косы в (Зенкович, 1955) представлялось следующим образом. На схеме Б рис. 3.6 коса изображена в тот момент, когда начал подвергаться абразии участок берега, являющийся ныне западным окончанием линии отмершего клифа. Как изображено на схеме, коса значительно увеличилась, потому что в период повышения уровня моря и более активной абразии она должна была получить значительно большее количество обломочного материала. Очевидно также, что тело косы располагалось восточнее, чем зачаточная форма, так как подводный вал (Бакальская банка) смещался в том же направлении. В рассматриваемую стадию в теле косы уже имелась лагуна, отгороженная от моря с запада пересыпью. Процесс образования лагуны Бакальского озера можно представить себе следующим образом.

Надвигаясь с запада на устье потока, тело косы вначале должно было отклонять его к востоку. Затем, когда паводковые воды стали прокладывать себе путь через два – три береговых вала, они нашли себе более легкий выход в западную пониженную часть косы, где к этому времени, независимо от деятельности потока, могла образоваться небольшая лагуна. С этого момента воды могли сбрасываться в море путем просачивания через тело пересыпи или расходовались на испарение с поверхности лагуны.

Причину всех описанных выше изменений в (Зенкович, 1955) видят в непрерывном повышении уровня моря, обращая внимание на тот факт, что наиболее древние участки косы занимают гипсометрически пониженное положение относительно молодых. При этом есть ссылка на данные мареографов из лоции Черного моря 1937 года, в которой повышение уровня Черного моря за предыдущие 50 лет (до 1937 года) определяют в 15 см. На самом деле, в свете современных знаний, это не соответствует действительности, поскольку в тот период уровень был относительно стабильным, даже с некоторой тенденцией к понижению. Скорее речь идет о погружении суши в районе Бакальской косы в результате вертикальных тектонических движений со скоростью, определяемой в настоящее время величиной 0,1 см в год или 10 см в столетие (Горячкин, Иванов, 2010). Но для существа вопроса это не имеет первоочередного значения, поскольку важно изменение собственно положения береговой линии относительно уровня, независимо от причин, вызывающих его изменение.

Можно считать, что если отрезок времени, необходимый для продвижения западного края косы на восток на расстояние, равное ширине косы, будет более длительным, чем период повышения уровня моря на высоту активного берегового вала (1,5 м), то участок косы, прилегающий к активному западному валу изнутри, окажется ниже уровня моря, и здесь образуется лагуна. Современная лагуна Бакальского озера действительно занимает площадь наиболее древней части косы, если считать, что коса образовалась согласно выше изложенным представлениям. В самом деле, вследствие еще большего повышения уровня моря размеры лагуны увеличились. Сопровождавшая погружение абразия ее берегов отодвинула южный берег до его современного положения. Коса сдвинулась еще дальше к востоку и достигла максимальных размеров. Современное строение подводного склона и у тела косы, и у прилегающих участков берегов дает явные признаки ограниченного питания новым материалом (дефицит наносов), которое вряд ли может компенсировать потерю наносов на истирание.

3.3 ЭВОЛЮЦИЯ МОРФОСИСТЕМЫ БАКАЛЬСКОЙ КОСЫ

Дистальная часть Бакальской косы за 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. Об этом позволяет говорить тот факт, что маяк, стоявший в 1960 г. в середине дистальной части косы, в 2000 г. уже находился в 20 м от ее западного края, а в 2001 г. оказался в море (Горячкин, Удовик, 2015). Объемы продуктов размыва и аккумуляции примерно равны и составляют 5-7 м³/погонный метр в год. В (Шуйский, 2005) приводится скорость отступления берега в период 1972 – 1988 гг. в районе с. Аврора – 2,8 м /год. В (Зенкович, 1958а) скорость отступления коренного берега у точки примыкания к нему западной части определена величиной не менее 1 м в год. Темп абразии был определен здесь по разрушению канав, вырытых в 1941 г. на обрыве не ближе 5 м от его края; в 1945 г. они уже были срезаны морем. Карта 1900 г., при определенном сомнении в её точности, показывает, что ширина Бакальской косы была намного больше, а площадь зеркала Бакальского озера намного меньше, чем в настоящее время. Это в принципе согласуется с вышеприведенными рассуждениями

В последние годы наметилась тенденция отделения всей дистальной части от тела косы. В период 1.09.1998 – 1.09.1999 г. отделение было временным, а в период 1.09.1999 – 1.09.2000 г. вся дистальная часть, протяженностью 1 км, отделилась от косы прорвой, шириной 40 м, и превратилась в остров. Это хорошо видно по снимку из космоса того времени. До октября 2010 г. дистальная часть была соединена с телом косы, после чего произошло отделение дистальной части с образованием промоины шириной до 1 км (2017 г.). Более подробно этот процесс будет рассмотрен в следующем подразделе.

Береговой уступ Бакальской бухты размывается в зависимости от относительной высоты, интенсивности волнения и высоты нагона на 0,5-3,0 м/год; он срезает тропы, дороги, поля сельскохозяйственных культур, дренажные каналы и лотки. С 1974 по 1991 гг. уступ отступал, судя по наблюдениям геологов Ялтинской ГИГП, со средней скоростью 12,8 м³/погонный метр в год. Если учесть и размыв бенча, то значение скорости возрастет до 15 м³/погонный метр в год. В штормовой 1981 г. скорость размыва уступа и бенча достигала 25 м³/погонный метр в год (40 т/п.м. в год). Это самая высокая скорость размыва протяженного отрезка берега Крыма.

В период 1945 – 2000 гг. море срезало 150-170-метровую полосу низкого берега, на котором находилось с. Сергеевка. В строении берегового уступа высотой 1,0-1,5 м, сложенного суглинками, вскрыт культурный слой, а на бенче до глубины 1,2 м до сих пор лежат блоки известняка-ракушечника размывших построек бывшего села. Средняя скорость размыва берегового уступа и бенча составила 3 м/год, 4,8 м³/погонный метр в год. Также довольно интенсивно отступает выдвинутый в акваторию низкий берег у с. Портовое. За время существования Бакальской косы береговой обрыв отступил по отношению к своему предшественнику, сохранившемуся у с. Аврора, в зависимости от высоты, на 300 – 800 м. Средняя расчетная скорость размыва берега (уступа и бенча) составила 0,3-0,8 м/год или 4-5 м³/погонный метр в год. Найденные разными методами средние значения многолетней скорости свидетельствуют о длительном катастрофическом размыве погружающегося берега Каркинитского залива.

Восточный участок берега открыт для волнения северных и западных румбов. Здесь происходит поперечное и продольное (к северо-востоку) перемещение детритусово-ракушечных наносов, питающих Сергеевскую косу и Лебяжьи острова. Динамика этих аккумулятивных образований в условиях дефицита биогенных наносов, усугубленного неблагоприятной экологической обстановкой в акватории, зависит от режима волнения и сгонно-нагонных явлений, в связи с чем периоды преобладания аккумуляции сменяются периодами преобладания размыва. В 60 – 70-е годы и до середины 80-х годов XX в. происходил размыв, а в последующее время – рост аккумулятивных форм.

С началом XXI века, видимо, наступила новая фаза размыва. Так в последней декаде января 2007 г. сильный продолжительный шторм привел к интенсивному размыву берега западной части Бакальской косы и намыву с восточной стороны. Со слов очевидцев, за несколько дней берег отступил на величину около 50 м, уничтожив часть существовавшей дороги; при этом железобетонные столбы линии электропередачи были повалены в море. Кроме этого, на перешейке между морем и Бакальским озером в западной части косы образовалась промоина. Ниже мы приводим фрагмент рассказа главного лесничего Раздольненского лесхоза Цыган С.К. об этом явлении: «После западного шторма в январе 2007 года размывало дорогу и линию электропередач (рис. 3.7), на западной части косы образовался обрыв высотой 1-1,8 м (рис. 3.8). Ширина косы значительно уменьшилась, примерно на 50 м, а может и больше. Ранее такого не наблюдалось. При шторме западный ветер был силой до 25 м/с. Шторм в январе 2007 года был дня четыре. Такой сильный шторм был 3 года назад, но он был кратковременный и через сутки стих, а в этом году был затяжной. Вообще, размыв начался с ноября 2006 года. Ранее (как минимум в последние 10 лет) волны не выходили даже на дорогу, которую размывало. На западной части косы после шторма образовалась промоина между озером и морем. После шторма она закрылась. Пять лет назад, тоже во время шторма, образовывалась промоина. Вообще, каждые 3-4 года промоины здесь появляются. Представляется, что причина таких значительных изменений: первое – сильный и, главное, продолжительный шторм, второе – особенности конфигурации дна, которые приводят к рефракции ветровых волн. Ширина самой узкой части косы после шторма была 10 м. Фронт волн был перпендикулярен берегу. В восточной части косы изменений почти не было. Подстилающие породы здесь – карбонатные, известняк. Старожилы говорят, что берег в районе сел Сергеевка и Андреевка, ушедших под воду еще до войны, отступил примерно на 1 км за последние 50 лет. Сколько я здесь живу, коса все время меняется, но раньше она была шире. Очень сильно ширина косы зависит и от ветра – наблюдается выдувание песка в море, особенно там, где нет растительности. Заболоченный участок в северной части Бакальского озера смещается год от года к северо-востоку. Сама коса также смещается к востоку».

Из этого рассказа следует два несомненных вывода. Во-первых, коса обнаруживает явные признаки смещения к востоку. Во-вторых, хорошо видно значительное уменьшение её ширины в узкой части. На топографической карте заметен и размывтый участок дороги. Перемещение дистальной части к югу не видно, более заметно изменение пространственной конфигурации во времени, о чем уже шла речь выше. Здесь мы отметим, что один из прогнозов, который дан в работе (Зенкович, 1958а), опубликованной в 1955 году – это отступление к югу дистального конца Бакальской банки. Автор считает, что, получая ограниченное питание и следуя за линией отступающего коренного берега, коса должна перемещаться к югу всей своей массой. В более же ранние периоды, пока увеличение объема косы не достигло кульминации, нового материала хватало не только на то, чтобы компенсировать отступление к югу корневой части косы, но и на то, чтобы реально наращивать ее дистальный конец. Насколько верен этот прогноз, мы сказать не можем, поскольку карты с точной геодезической основой того времени не существует. Зато другой прогноз, несомненно, был верным.

На рис. 3.9 показан такой прогноз, в котором предполагается продолжающееся перемещение косы к востоку и увеличение размеров лагуны (Бакальского озера) на севере за счет повышения уровня моря, а в остальных точках, кроме того, за счет абразии берега волнами лагуны – фаза А. Эта фаза, возможно, близка к сегодняшней и к обозримому будущему и в целом соответствует имеющимся на сегодняшний день данным. На более отдаленное будущее прогнозируется период, когда устье балки окажется уже по западную сторону косы и когда из одной аккумулятивной формы получится две. Площадь основной косы будет, по сравнению с теперешней, почти неизменной, принимая, что подача нового материала достаточна для компенсации потери на истирание.



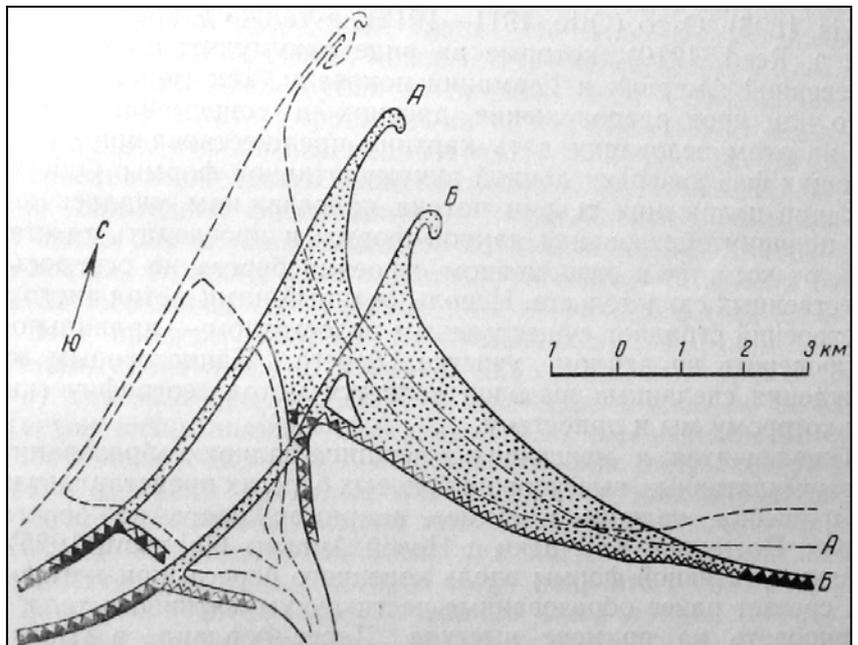
Рис. 3.7 – Остатки дороги после шторма в конце января 2007 года



Рис. 3.8 – Обрывы, образующиеся после размыва берега в результате шторма. На снимке 17 апреля 2007 г.: обрыв высотой 0,7 м после шторма от северного направления

В своем движении западный край косы достигнет выступа древнего клифа на северном берегу лагуны и начнет подрезать его. На месте устья балки сохранится замыкающая форма – пересыпь, которая будет служить террасой для движения с запада потока наносов малой мощности. Этот поток будет поддерживать существование пересыпи и продолжать питать собственно Бакальскую косу. Наконец, к северу от линии вновь образовавшегося клифа останется небольшая лагуна, если повышение уровня моря будет продолжаться и в этот отдаленный период – фаза Б.

Рис. 3.9 – Прогноз дальнейших фаз эволюции Бакальской косы и примыкающего к ней берега (по Зенковичу (Зенкович, 1958а)):
 А – ближайшая стадия;
 Б – более отдаленная



Питающие косу с обеих сторон потоки наносов имеют в настоящее время незначительную мощность. Начиная с самых малых глубин, а местами и от подножья клифа непосредственно начинается глинистое дно, которое идет до глубин порядка 10 м, после чего покрывается тонким илистым песком, не входящим в состав наносов волнового поля. В то же время, при отсутствии поступления наносов коса не может являться устойчивой, так как на ее дистальном конце неизбежно должен происходить размыв. Поэтому значительную роль играет существование Бакальской банки, проходя над которой, волны расходуя значительную часть своей энергии. По-видимому, здесь существует некоторое неустойчивое равновесие между количеством материала, которому удастся обогнуть оконечность косы и перейти на восточную сторону, и тем количеством, которое подается существующим потоком наносов к корню западной части косы.

Оконечность косы резко сдвинута к восточной границе тела банки и даже переходит за него, образуя на коротком протяжении крутой подводный склон. Это является результатом действия волн западных румбов, которые стремятся унести здесь материал в сторону значительных глубин за пределы косы. Однако и эти волны, загибаясь в результате рефракции на юг за оконечность косы, и волны северо-западных румбов перемещают часть материала на восточную сторону. Строение оконечности косы показывает, что режим ее чрезвычайно изменчив. Этот процесс, несомненно, сопровождается размывом оконечности косы. Суммируя, можно отметить, что в районе Бакальской косы действуют два независимых друг от друга процесса:

- перемещение наносов к оконечности косы по ее западному краю (ветры юго-западные и западные);
- перемещение наносов от оконечности косы к югу вдоль ее восточного края (ветры северо-западных и северных румбов).

Результат взаимодействия этих процессов и определяет за данный период времени темп нарастания или отступления косы. При постоянстве метеорологических условий этот результат зависит от того количества материала, которое могут получить в свое распоряжение волны западных румбов, причем емкость этого потока наносов несравненно больше, чем восточного. Поэтому, если западный поток будет насыщен в достаточной степени, коса будет нарастать, а при дефиците его нагрузки восточный поток, хотя и несравненно меньшей емкости, будет косу укорачивать. Вместе с тем, необходимо учитывать имеющийся дефицит наносов. Добыча песка на Бакальской банке может привести к нарушению равновесия и к непредсказуемым последствиям.

3.4 ИЗМЕНЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ БАКАЛЬСКОЙ КОСЫ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Анализ снимков со спутника Landsat в период 1986 – 2009 гг., показал следующее:

1. Дистальная часть косы за этот период выдвинулась в акваторию Каркинитского залива в северо-восточном направлении на 300 м со средней скоростью 13 м/год, при этом положение корневой части было относительно стабильным.

2. Наблюдалось уменьшение ширины косы в районе перешейка, соединяющего основное тело косы с дистальной частью, и смещение её к востоку (западного берега на 160, восточного на 100 м). В этом же направлении смещается и сама дистальная часть косы.

3. Дистальная часть неоднократно отделялась от основного тела косы промоинами шириной до 50 – 100 м.

4. Западный берег косы в 90-х гг. прошлого века оставался относительно стабильным; после 2004 г. произошла активизация его размыва. Хорошо прослеживалось надвигание пересыпи, отделяющей море от Бакальского озера, на его акваторию.

За рассматриваемый период пересыпь сместилась на 150 м; современный урез моря располагается на месте, где в 1986 г. была лагуна, что соответствует и геоморфологическим данным (с 2007 г. после штормов, на урезе западной части косы обнажаются иловые отложения озера). Отмеченные выше тенденции согласуются с материалами аэрофотосъемки конца 80-х – начала 90-х гг. прошлого века.

С началом XXI в., видимо, наступила новая фаза размыва. Так, в последней декаде января 2007 г. сильный продолжительный шторм привел к интенсивному размыву берега западной части Бакальской косы и намыву с восточной стороны. Ежегодные высокоточные GPS-съемки также подтверждают перечисленные выше процессы. Наиболее примечательный факт в динамике Бакальской косы отмечен в период 2010 – 2012 гг. Ранее неоднократно наблюдаемый процесс обособления и соединения дистальной части с телом косы, по-видимому, достиг своего логического развития. В течение 2007 – 2010 гг. несколько раз было зафиксировано отделение дистальной части косы. Впоследствии, после каждого отделения, перешеек образовывался вновь, однако с каждым разом его ширина уменьшалась. К лету 2010 г. ширина перешейка составляла всего 10-12 м, а сам он принял S-образную форму (рис. 3.10). Наконец осенью 2010 г. произошло отделение дистальной части с образованием промоины шириной более 600 м. К лету 2011 г. максимальная глубина в промоине достигла 3 м. Как показывают текущие космические снимки, пролив существует уже в течение семи лет (рис. 3.10).

Наши измерения, проведенные в ходе экспедиции, показали, что в июне 2017 г. ширина пролива достигла 1.15 км, а площадь острова составила 0.33 км² (вместе с заключенными в его теле лагунами). Расширение пролива практически полностью происходило за счет размыва оконечности косы. Положение и площадь острова в последние годы изменялась мало (при этом его конфигурация изменяется практически после каждого шторма). В целом, некоторое уменьшение площади острова (07.2013 – 0.39 км²; 06.2016 – 0.36 км²; 06.2017 – 0.33 км²) происходит за счет уменьшения площади заключенных в его теле лагун, объем наносов в теле острова, вероятно, практически не изменяется.

Не исключено, что Бакальская коса повторит судьбу косы и острова Тузла в Керченском проливе. Как известно, до 1925 г. остров в составе косы она существовал как единое целое с Таманским п-овом. В ноябре 1925 г. во время сильного шторма юго-западного румба произошел прорыв в корневой части косы. Образовалась промоина шириной до 300 м, которая уже к 1926 г. выросла до 960 м. Впоследствии размыв острова замедлился, и он вместе с цепью отмелей по направлению бывшей косы существовал вплоть до 2003 г. до начала строительства защитной дамбы, после чего размыв восточной части острова резко усилился.

По нашему мнению, отделение от Бакальской косы её дистальной части осенью 2010 г. обусловлено общей тенденцией развития Бакальской косы, подробно рассмотренной в (Горячкин, Удовик, 2010), аномально высоким уровнем моря в этот период в сочетании с активной штормовой деятельностью. Существенно, что в течение 2005 – 2010 гг. отмечалось возрастание повторяемости штормовых западных и юго-западных ветров, при существенном уменьшении повторяемости ветров северо-западных и северных румбов. Не исключено также влияние добычи песка в районе Бакальской банки, которая, по нашим данным, проводилась в течение 2009 – 2012 гг. Объем и точное место добычи нам установить не удалось.



Рис. 3.10 – Изменения конфигурации Бакальской косы по данным ИСЗ серии LANDSAT (вверху) и съемок GPS (внизу)

3.5 ВЕТРОВОЙ РЕЖИМ РАЙОНА БАКАЛЬСКОЙ КОСЫ

3.5.1 Используемые данные, методы измерений и обработки

Для оценки характеристик ветрового режима использованы материалы многолетних наблюдений над ветром, которые проводились на станциях Гидрометслужбы – Черноморское (1928 – 2015 гг.) и Стерегущий (1939 – 1964 гг.), расположение которых показано на рис. 3.11. Обе береговые станции открыты ветрам всех направлений; данные наблюдений над ветром репрезентативны.

Станция Черноморское (до 1945 г. «Ак-Мечеть») расположена на южном берегу бухты Узкой (Ак-Мечетской), вдающейся в северо-западный берег Крымского полуострова на 7 км. Берега бухты скалистые, обрывистые, высотой до 6 м. По мере продвижения к вершине бухты берега её постепенно становятся пологими и низменными. Южный берег бухты, где расположен пгт Черноморское, отлогий и представляет собой равнину, которая плавно повышается в сторону суши в юго-западном и юго-восточном направлениях и достигает местами высоты 120 м над уровнем моря. За период наблюдений координаты метеоплощадки не менялись, высота менялась незначительно. Метеоплощадка расположена в 20 м от берега бухты, ближайшие постройки на расстоянии 10-25 м к югу и юго-востоку, высотой 4-5 м. В 1932 г. был установлен флюгер с двумя досками, в 1954 г. флюгер с тяжелой доской. С 2000 г. наблюдения над скоростью и направлением ветра производятся с помощью анеморумбометра М-63 М.

Станция Стерегущий (до 1947 г. «Бакал») была расположена на южном возвышенном берегу Бакальской бухты у корня Бакальской косы. Окружающая станцию местность – равнинная степь с небольшими холмами. Измерения скорости и направления ветра производились по флюгеру с тяжелой доской.

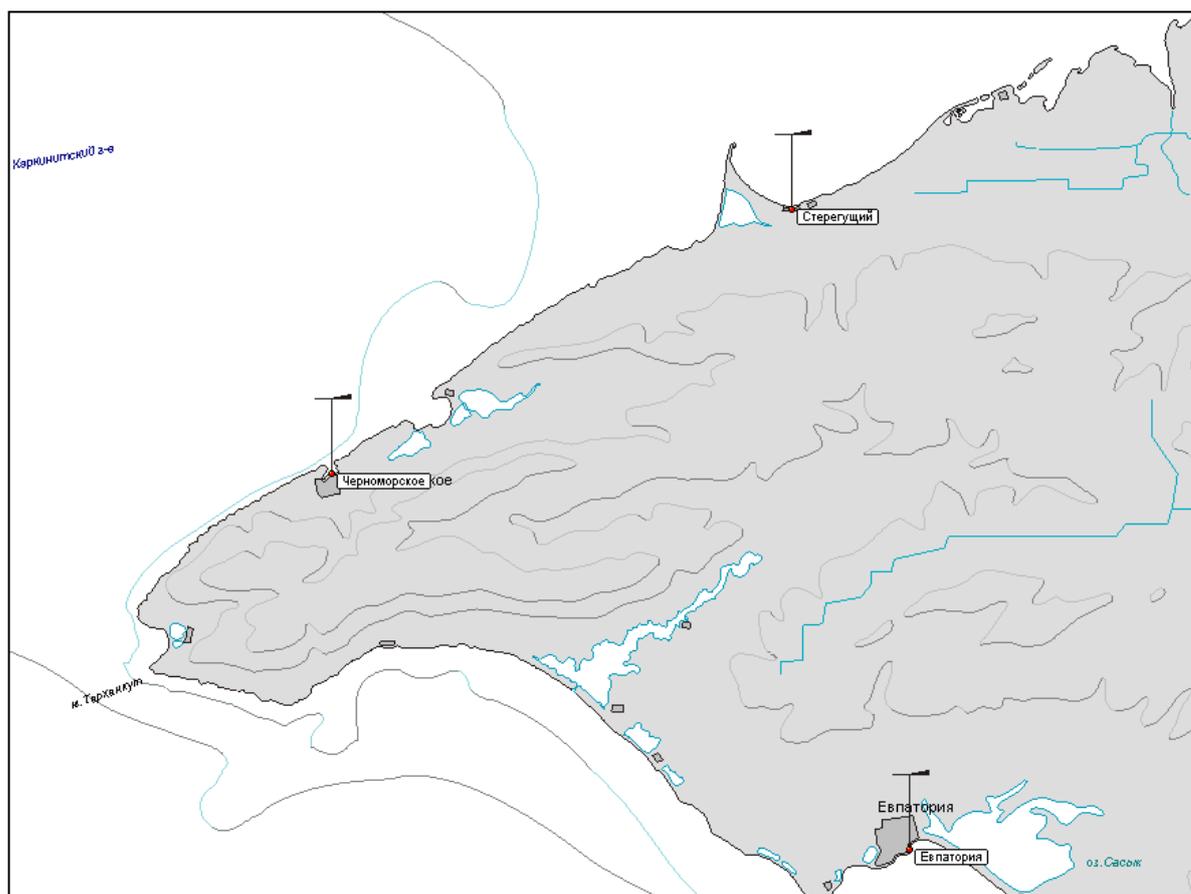


Рис. 3.11 – Расположение береговых гидрометеорологических станций на северо-западном побережье Крыма

В основу обработки положены массивы срочных наблюдений, по которым рассчитывались среднесуточные, среднемесячные, среднегодовые величины скорости ветра, выбирались абсолютные максимумы скорости, рассчитывалась повторяемость ветров по направлениям для всего периода наблюдений, сезонов и отдельных месяцев, а также суммарная повторяемость и обеспеченность для различных градаций скорости ветра. По станции Черноморское расчеты статистических характеристик производились как для всего массива наблюдений, так и для периода 1939 – 1964 гг., синхронного периоду наблюдений на станции Стерегущий.

3.5.2 Скорость ветра

Скорость ветра на северо-западном побережье Крыма (СЗПК) имеет хорошо выраженный годовой ход с максимумом в холодный период и минимумом в теплый. На рис. 3.12а показаны среднемноголетние месячные величины скорости ветра. Рисунок позволяет оценить амплитуды сезонных изменений средней, максимальной и минимальной месячной скорости ветра в районах Черноморского и Стерегущего. Для обеспечения корректности сравнения данных этих районов северо-западного побережья Крыма, на рис. 3.12а представлены также данные станции Черноморское, вычисленные за период, синхронный ряду станции Стерегущий, т.е. с 1939 по 1964 гг. (индекс 39 – 64). Такое сравнение показывает, что в районе Черноморского в этот период скорости ветра были выше, чем в районе Стерегущего, и выше, чем осредненные данные за весь период наблюдений в Черноморском. Как будет показано ниже, это связано с общим уменьшением ветроволновой активности во второй половине XX века, по крайней мере, в прибрежной зоне Черного моря.

В зимний период средние месячные скорости могут достигать 5,7-6,2 м/с, причем максимальные величины соответствуют ряду Черноморского за 1939-1964 гг., а летом уменьшаются лишь до 4,2-4,6 м/с, при этом минимальные значения соответствуют полному ряду Черноморского. На рис. 3.12б представлены годовые изменения среднеквадратических отклонений (СКО) среднемесячных величин скорости ветра. В течение большей части года диапазоны изменчивости синхронных рядов Черноморского и Стерегущего отличаются мало, однако в осенне-зимний сезон изменчивость скорости ветра в районе Черноморского значительно выше.

Таблица 3.1 – Среднемесячные, экстремальные скорости ветра (м/с) и среднеквадратичные отклонения на береговых станциях Черноморское и Стерегущий

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Черноморское, 1928 – 2015 гг.													
Среднее	5,9	6,2	6,0	4,8	4,2	4,2	4,2	4,2	4,4	5,0	5,6	5,9	5,0
Минимум	3,3	3,9	3,7	3,1	2,4	2,6	2,6	3,0	3,0	3,1	3,4	4,0	3,8
Год	1928	1989	1976	1980	1975	1989	1977	1980	1976	1974	1978	1975	1975
Максимум	8,7	9,8	9,9	7,2	7,7	7,3	6,1	5,6	6,8	7,9	9,3	7,9	6,96
Год	1969	1929	1967	1931	1929	1929	1929	1949	1929	1950	1953	1930	1929
Максимум абс.	22	28	24	20	20	20	20	20	23	24	24	20	28
СКО среднем.	1,15	1,37	1,14	0,91	0,86	0,9	0,71	0,62	0,71	0,99	1,11	0,91	0,61
Стерегущий, 1939 – 1964 гг.													
Среднее	5,7	6,0	5,9	5,0	4,6	4,4	4,6	4,5	4,5	4,9	5,4	5,8	5,1
Минимум	4,0	4,5	3,3	3,7	3,6	3,2	3,8	3,6	3,2	4,1	4,0	4,7	4,4
Год	1949	1949	1964	1950	1946	1964	1964	1959	1939	1948	1961	1951	1964
Максимум	7,3	7,6	7,4	5,7	5,8	5,9	5,6	5,6	5,6	6,3	7,1	8,3	5,42
Год	1941	1954	1939	1959	1958	1950	1947	1939	1959	1951	1953	1946	1950
Максимум абс.	20	24	22	20	24	18	17	20	20	20	20	20	24
СКО среднем.	0,81	0,93	0,83	0,5	0,68	0,65	0,52	0,53	0,62	0,66	0,78	0,81	0,25

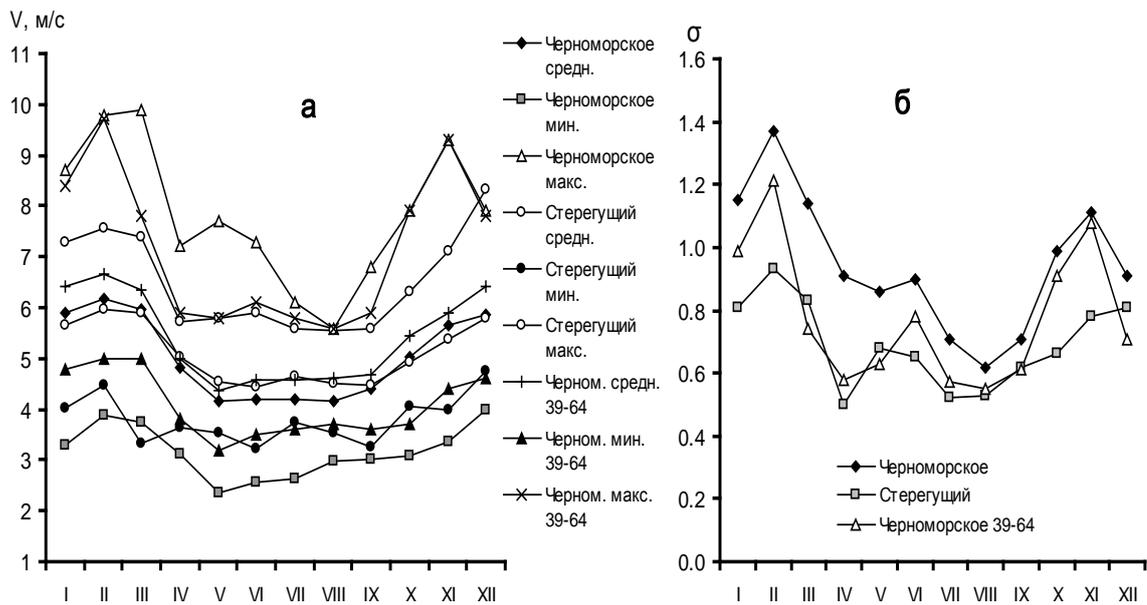


Рис. 3.12 – Годовые изменения среднемесячных величин скорости ветра (а) и их СКО (б) на станциях северо-западного берега Крыма

Как следует из табл. 3.1 и рис. 3.12 в наиболее ветреные годы среднемесячные скорости ветра зимой достигают 9-10 м/с, т.е. в холодный период ветры штормовой силы могут действовать на протяжении всего месяца. Максимальные среднемесячные скорости чаще всего наблюдаются с октября по март. Штормовые ветры ≥ 20 м/с бывают в любое время года и в любом районе СЗПК. Максимальные скорости зимой и весной могут достигать 24-28 м/с, а порывы ветра 30-35 м/с. Среднее число дней с сильным ветром (≥ 15 м/с) в год в районе Steregущего достигает 34.

Наряду со средними и максимальными величинами скорости ветра интерес представляют сведения о повторяемости различных её градаций. Суммарная повторяемость скорости ветра рассчитывалась по среднесуточным величинам с интервалом в 1 м/с для полного ряда станции Черноморское, непрерывного ряда Steregущего (1948 – 1964 гг.) и синхронного ему ряда станции Черноморское. Кривые распределения повторяемости (%) скорости ветра представлены на рис. 3.13. Оказалось, что повторяемость слабых ветров (0-5 м/с) отличается мало: в Steregущем 60 %, по полному ряду Черноморского 62 % и сокращенному – 56 %. Наибольшая повторяемость сильных ветров ≥ 10 м/с была в Черноморском в период с 1948 по 1964 гг. (13,4 %), а в районе Steregущего в этот же период только 8,3 %. Ветры ≥ 15 м/с имеют достаточно большую повторяемость (1-2 %), что составляет в Steregущем 30 сут., в Черноморском за тот же период – 101 сут., а за весь период наблюдений на станции Черноморское – 158 сут., из них в течение 26 суток наблюдалась скорость ветра ≥ 20 м/с.

Сезонные изменения повторяемости различных градаций скорости ветра приведены в табл. 3.2, а годовой ход повторяемости сильных ветров (≥ 10 м/с) и случаев отсутствия ветра (штилей) показан на рис. 3.14. Сезон с наибольшей повторяемостью штормовых ветров также соответствует холодному периоду года с октября по март. В этот период повторяемость случаев сильных ветров изменяется от 7,5-10,5 % в районе Steregущего и по данным полного ряда станции Черноморское. А в период наблюдений на этой станции, синхронных с наблюдениями на станции Steregущий (1948 – 1964 гг.), в зимние месяцы повторяемость штормовых ветров достигала 11-15 % (рис. 3.14а).

В мае ветровая активность резко снижается, а летом на северо-западном побережье Крыма преобладает маловетренная погода, когда повторяемость ветра до 5 м/с составляет 60-64 % всех наблюдений, а повторяемость редких усиления ветра в основном 2-3 %. Однако повторяемость случаев полного штиля на побережье распределяется по разному.

Меньше всего штилей в районе Бакальской косы – в течение всего года 4-6 % (рис. 3.14б). В этот же период в районе Черноморского отмечена максимальная повторяемость штилей, особенно в теплый период, с мая по сентябрь (14-15 %). Вместе с тем, этот же период лет выделяется максимальной повторяемостью зимних штормов. Расчеты повторяемости по полному ряду станции Черноморское (1948-2015 гг.) показали, что повторяемость случаев полного безветрия в теплый период составляет 8-10 % (рис. 3.14).

Рис. 3.13 – Суммарная повторяемость среднесуточной скорости ветра

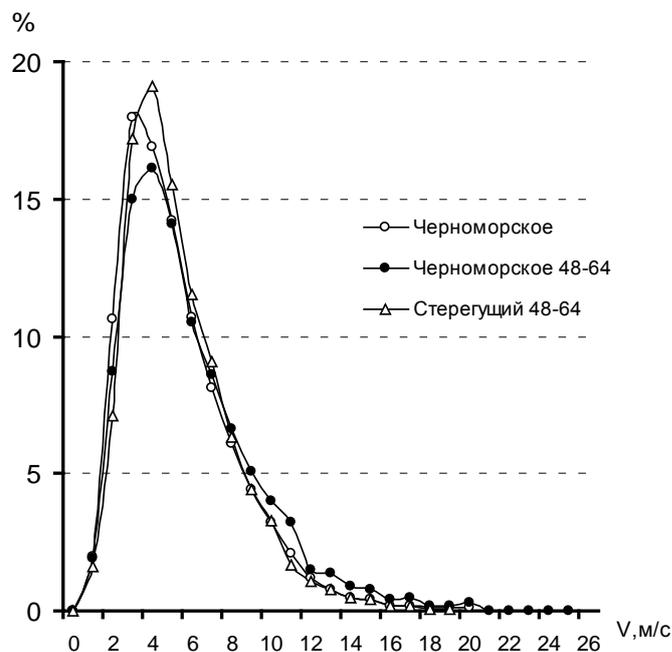


Таблица 3.2 – Внутригодовое распределение повторяемости (%) разных градаций скорости ветра на береговых станциях северо-западного побережья Крыма

Ско- рость, м/с	Месяц												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Черноморское, 1948 – 2005 гг.													
0	3,5	3,7	6,0	8,9	9,9	8,6	8,2	9,1	8,3	6,8	4,3	3,1	6,7
1 – 5	50,9	48,7	48,7	58,5	64,0	65,5	65,1	63,5	61,7	55,0	53,1	53,0	57,4
6 – 10	35,4	36,9	35,7	27,4	23,4	23,7	24,9	25,6	26,6	32,1	34,2	36,0	30,1
11 – 15	7,7	8,2	7,0	3,8	2,2	1,8	1,5	1,4	2,5	4,7	6,4	6,0	4,4
16 – 20	2,57	2,39	2,53	1,31	0,49	0,39	0,35	0,40	0,94	1,36	1,95	1,88	1,37
>20	0,01	0,12	0,03	0	0	0	0	0	0,01	0,06	0,07	0	0,02
Черноморское, 1948 – 1964 гг.													
0	3,9	4,3	8,5	12,8	14,8	14,0	14,7	15,0	13,7	12,4	8,0	5,1	10,6
1 – 5	44,6	40,4	41,8	51,3	55,6	54,8	54,2	51,5	51,4	45,0	46,0	46,8	48,7
6 – 10	38,3	40,0	35,1	28,9	25,7	26,6	27,9	29,8	28,7	33,1	34,4	37,0	32,1
11 – 15	8,1	9,9	8,3	3,7	2,7	3,4	2,1	2,5	3,5	5,9	6,9	6,8	5,3
16 – 20	5,0	5,2	6,3	3,4	1,3	1,3	1,0	1,2	2,8	3,7	4,7	4,3	3,3
>20	0	0,26	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02
Стерегуций, 1948 – 1964 гг.													
0	3,8	5,0	6,2	5,9	4,7	5,6	5,9	6,7	5,0	5,6	4,4	5,5	5,4
1 – 5	52,9	45,4	48,8	59,2	65,6	64,0	61,8	62,5	64,6	58,2	55,3	49,8	57,5
6 – 10	35,8	40,3	34,5	28,7	26,6	27,5	29,5	27,6	26,9	30,8	32,9	35,1	31,2
11 – 15	5,4	6,5	7,2	3,8	2,4	2,4	2,2	2,5	2,0	3,7	5,7	6,7	4,2
16 – 20	2,04	2,79	3,27	2,40	0,69	0,58	0,65	0,69	1,42	1,73	1,78	2,93	1,73
>20	0	0,05	0	0	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0,01

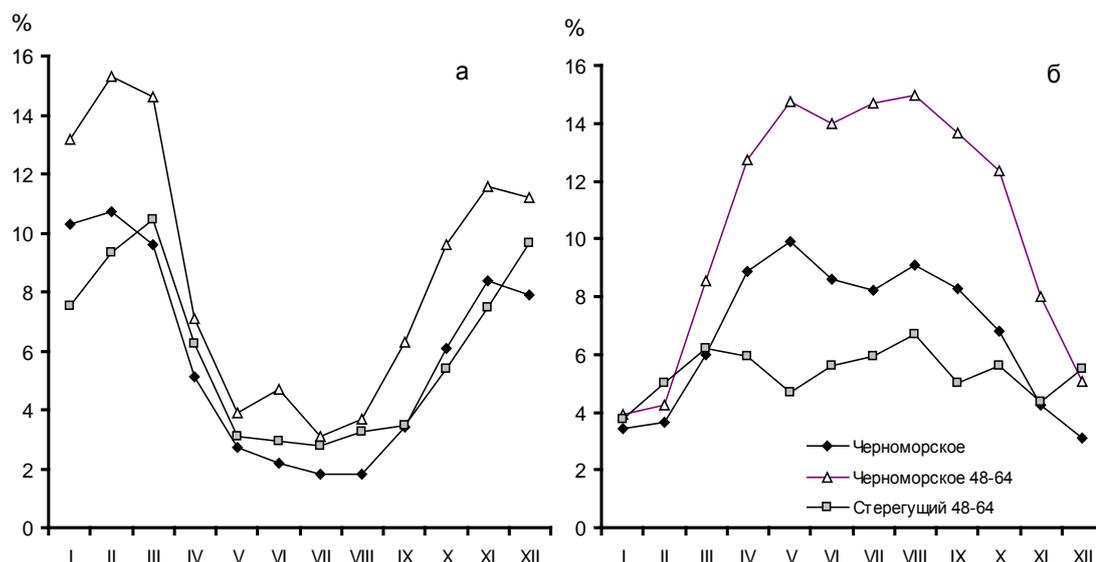


Рис. 3.14 – Годовой ход повторяемости (%) штормового ветра >10 м/с (а) и штилей (б) на береговых станциях северо-западного побережья Крыма

Сравнительно небольшая повторяемость штилей связана с бризовой циркуляцией в прибрежной зоне, в результате которой днем ветры дуют с более прохладной водной поверхности на сильно прогретый берег, а ночью – с берега. Наблюдаются бризы с апреля по октябрь, но их наибольшей повторяемостью характеризуются июль и август, когда бризовые ситуации могут удерживаться более половины месяца.

3.5.3 Направление ветра

Основные направления ветра над Черным морем определяются распределением атмосферного давления в различные сезоны года. В холодное время года под влиянием циклонических областей над Средиземным и Черным морями преобладает перенос континентального полярного воздуха, сопровождающийся северо-восточными, северными и северо-западными ветрами. Летом преобладающее влияние Азорского максимума вызывает западные, юго-западные и южные ветры.

Особенности ветрового режима связаны не только с общециркуляционными синоптическими процессами, но и с рельефом, ориентацией и конфигурацией берегов. На рис. 3.15 представлены средние годовые розы повторяемости ветра по направлениям, на которых изображены линии суммарной повторяемости и линии, соответствующие повторяемости ветров <10 м/с. Заштрихованные между ними области соответствуют величинам повторяемости штормовых ветров (≥ 10 м/с). Для пункта Черноморское представлены две розы: в месте расположения станции роза, рассчитанная по полному ряду (1948-2015 гг.), и роза, рассчитанная по ряду, синхронному с рядом станции Steregushiy (1948-1964 гг.) Все три розы указывают на преобладание северных и южных, западных и восточных ветров. Возможно, это связано с расположением станций на побережье Каркинитского залива, вытянутого в зональном направлении, и в бухтах, вытянутых с севера на юг.

Наиболее показательными являются данные полного ряда наблюдений на станции Черноморское, из которых следует, что на северо-западном побережье Крыма преобладают южные (19 %), северные (18 %), западные (16 %) и восточные (16 %) направления ветра (табл. 3.3). В районе Бакальской косы максимальную повторяемость имеют восточные ветры (20 %), северные и западные (по 17 %). Сильные ветры наблюдаются, в основном от северных румбов, а наиболее жестокие штормы – от северо-восточной четверти. Самая высокая повторяемость штормовых северо-восточных и восточных ветров была отмечена в Черноморском в период с 1948 по 1964 гг.

Рис. 3.15 – Розы повторяемости (%) ветра на береговых станциях Черноморское (1948 – 2005 гг.; 1948-1964 гг.) и Стерегущий (1948-1964 гг.)

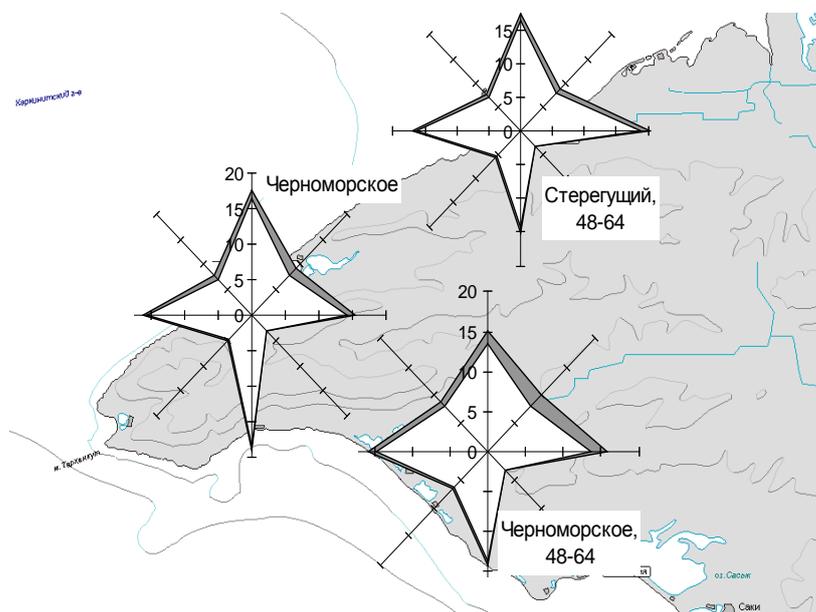


Таблица 3.3 – Средняя многолетняя повторяемость (%) ветра различной скорости по направлениям, суммарная повторяемость и режимная обеспеченность

Скорость, м/с	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Повто-ряем.	Обес-печен.
	Черноморское, 1948 – 2005 гг.									
0									6,7	100
1 – 5	9,4	3,9	9,6	2,6	13,2	3,5	10,7	4,6	57,4	93,3
6 – 10	7,1	4,1	4,5	0,3	5,2	1,3	4,9	2,6	30,1	36,0
11 – 15	0,84	1,07	0,85	0,03	0,56	0,16	0,49	0,43	4,4	5,8
16 – 20	0,24	0,36	0,41	0,01	0,05	0,03	0,14	0,14	1,4	1,4
>20	0	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0,02	0,02
Сумма	17,6	9,5	15,5	2,9	19,0	5,0	16,1	7,8	100	
	Черноморское, 1948 – 1964 гг.									
0									10,6	100
1 – 5	6,8	3,5	8,5	2,8	9,2	4,2	9,1	4,6	48,7	89,4
6 – 10	6,7	4,5	5,2	0,4	4,4	1,9	5,7	3,3	32,1	40,7
11 – 5	1,03	1,26	1,1	0,06	0,43	0,25	0,61	0,54	5,3	8,7
16 – 20	0,58	0,93	0,89	0,03	0,12	0,08	0,35	0,37	3,3	3,4
>20	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0,02	0,02
Сумма	15,1	10,2	15,7	3,3	14,1	6,5	15,7	8,9	100	
	Стерегущий, 1948 – 1964 гг.									
0									5,4	100
1 – 5	9,7	4,1	11,8	2,7	10,2	4,0	10,6	4,5	57,5	94,6
6 – 10	6,6	3,7	6,9	0,3	4,0	1,3	5,8	2,6	31,2	37,1
11 – 15	0,83	0,73	1,04	0,01	0,57	0,19	0,48	0,32	4,2	5,9
16 – 20	0,25	0,38	0,54	0	0,21	0,07	0,14	0,14	1,7	1,7
>20	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01
Сумма	17,3	8,9	20,3	3,0	15,0	5,6	17,0	7,6	100	

Особенностью зимнего и осеннего периодов является общее преобладание ветров с востока (до 25 %) и сильных ветров северо-восточного направления. Весной повторяемость восточных ветров уменьшается, однако возрастает повторяемость южных ветров (до 24 %). При этом сохраняется высокая повторяемость сильных ветров от северо-восточной четверти. Летом чаще всего отмечаются ветры западного (27 %) и северного (26 %) направлений, при этом скорость ветра существенно уменьшается. Штормовые ветры возможны во все сезоны и от любых направлений, но наиболее волноопасными для северо-западного побережья Крыма являются ветры мористых направлений: юго-западного, западного и северо-западного. Сезонные изменения повторяемости ветров по основным 8 румбам представлены в табл. 3.4 и на рис. 3.16.

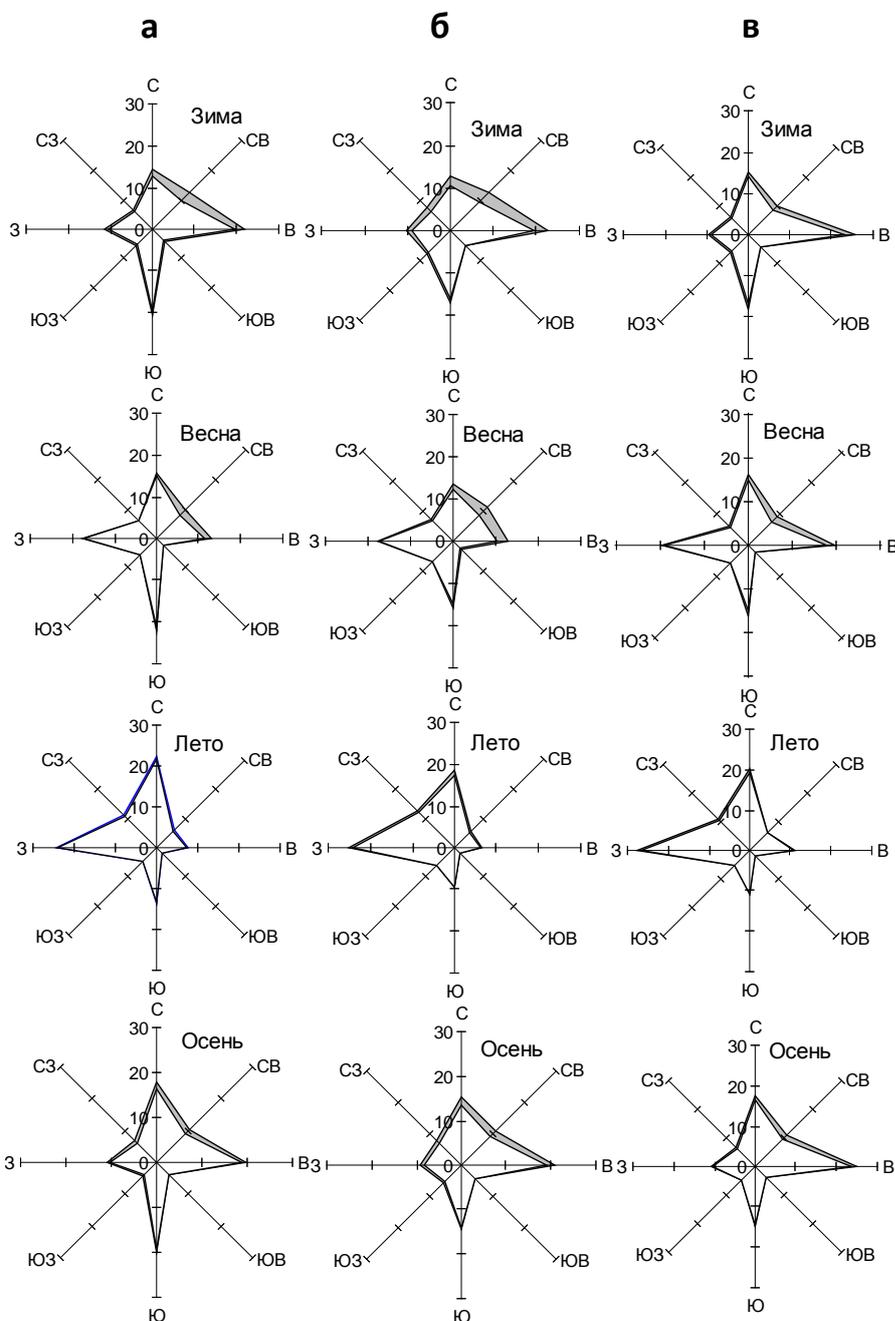


Рис. 3.16 – Сезонные розы повторяемости (%) ветра на станциях Черноморское (1948 – 2005 гг., а); (1948 – 1964 гг., б) и Steregushiy (1948 – 1964 гг., в)

Таблица 3.4 – Месячная повторяемость (%) ветра по направлениям на станции Черноморское (1948 – 2015 гг.)

Месяцы	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Январь	14,7	11,8	22,8	3,8	19,1	5,0	12,1	7,2
Февраль	14,8	13,3	19,9	3,4	20,6	5,8	12,1	6,7
Март	16,0	13,7	17,8	2,6	20,0	4,6	13,1	6,2
Апрель	15,3	8,3	12,0	2,5	24,1	5,9	17,6	5,4
Май	15,8	6,4	9,0	1,4	22,4	6,3	22,3	6,5
Июнь	18,4	4,7	6,4	1,7	17,9	6,2	27,2	8,9
Июль	22,5	5,8	6,3	1,2	12,2	4,2	27,1	12,4
Август	25,8	7,1	10,0	1,9	10,9	3,4	19,2	12,6
Сентябрь	20,9	7,9	14,5	3,1	18,3	4,3	14,2	8,7
Октябрь	18,7	11,9	19,4	3,9	20,5	3,3	9,5	6,0
Ноябрь	13,6	11,1	25,3	4,7	20,9	4,9	8,8	6,6
Декабрь	14,0	11,8	22,5	5,1	21,6	5,8	10,1	6,1

3.5.4 Сильные ветры

На северо-западном побережье Крыма сильные ветры наблюдаются от любых направлений. Однако, как было показано, наиболее интенсивные и продолжительные усиления ветра отмечаются от северных румбов. Реже всего сильные ветры отмечаются от юго-восточного и юго-западного направлений. На рис. 3.17 отдельно представлены розы повторяемости штормового ветра 10-30 м/с для всего периода наблюдений в Черноморском и для синхронных рядов станций Стерегущий и Черноморское. Практически все розы ветров показывают преобладающую повторяемость штормовых ветров северо-восточной четверти, в особенности северо-восточного (до 2,2 %) и восточного (до 2 %) направлений, причем период с 1946 по 1964 г. в районе Черноморского выделяется повышенной интенсивностью штормовых ветров всех направлений.

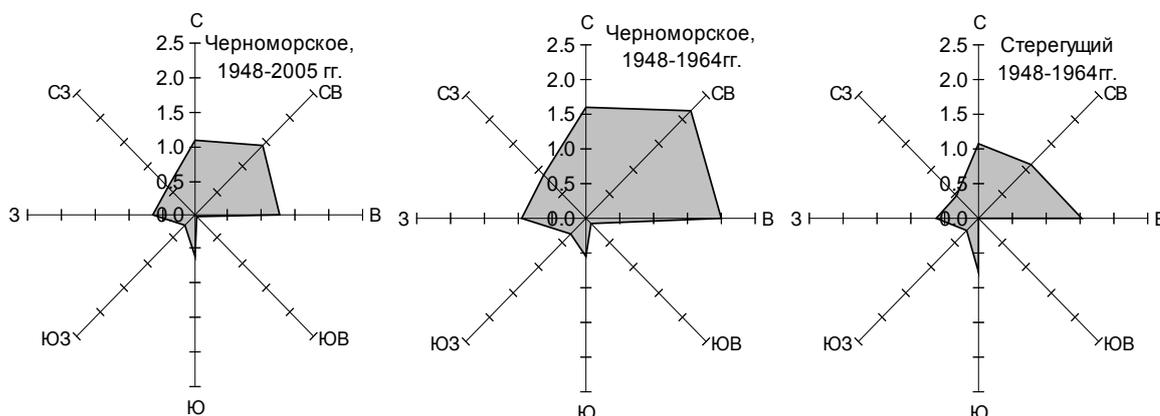


Рис. 3.17 – Средние годовые розы повторяемости (%) штормовых ветров (10 – 30 м/с) на северо-западном побережье Крыма

Определяющим фактором ветровых условий над Черным морем является структура барического поля. Усиление скорости ветра над морем и побережьем обусловлено чаще всего циклонической деятельностью. В Черном море и, в частности, у его северо-западного побережья, выделяются своими разрушительными последствиями осенние циклоны, которые случаются один раз в 7-10 лет и отличаются от обычных циклонов.

Для практических нужд необходимо знать, каковы экстремальные параметры воздействующего на сооружения ветрового потока. С этой целью при описании ветрового режима широко используются режимно-климатические функции распределения скорости ветра, которые дают представление о величине обеспеченности разных диапазонов скорости. На рис. 3.18 в виде логарифмического графика представлены многолетние режимные функции распределения скорости ветра, рассчитанные по данным натурных наблюдений на станциях северного побережья Черного моря. График дает представление о диапазоне изменчивости величин обеспеченности скорости ветра. Для расчета максимальных скоростей ветра малой обеспеченности (средней скорости в срок наблюдения) использовалась методика Анапольской – Гандина, которая позволяет по номограмме с билогарифмической шкалой аппроксимировать распределение Вейбула – Гудрича в виде прямой и определить значения скорости ветра, возможной один раз в заданное число лет. Согласно для расчета наибольших скоростей ветра, возможных один раз в n лет, с достаточной степенью точности можно использовать ряды регулярных наблюдений длительностью не менее 15-20 лет. В данном случае использовался полный ряд станции С помощью номограмм, по кривой распределения и её экстраполированной части были определены значения скорости ветра, возможной один раз в n лет, которые представлены в табл. 3.5.

Рис. 3.18 – Режимные функции распределения скорости ветра $F(v)$

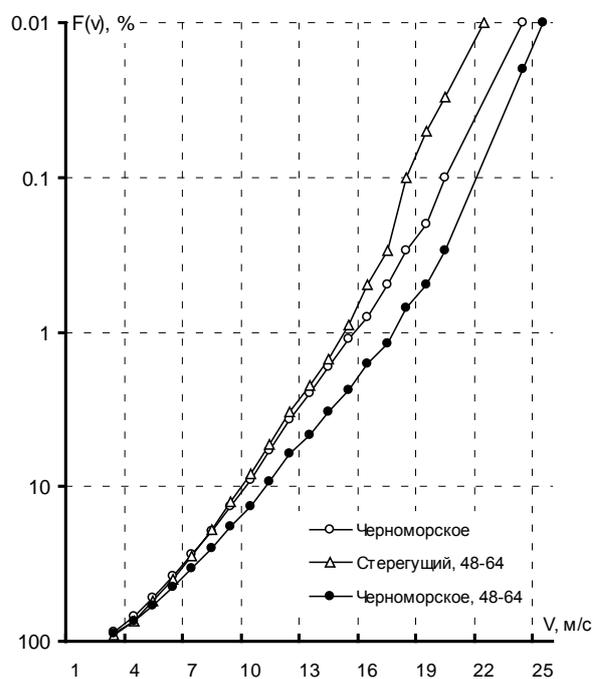


Таблица 3.5 – Скорость ветра (м/с), возможная один раз в n лет

Район	1 год	5 лет	10 лет	20 лет	50 лет	100 лет
Черноморское	26	32	34	36	39	40

При сравнении этих результатов расчетов с аналогичными данными, опубликованными ранее, оказалось, что, несмотря на существенное общее уменьшение скорости ветра за последние полвека, экстремальные расчетные величины скоростей изменились мало.

3.6 РЕЖИМ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ

3.6.1 Используемые данные, условия и методы наблюдений

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. Наиболее надежными представляются наблюдения над волнением на станции Черноморское. Используются данные наблюдений на этой станции в период 1953 – 2005 гг.). До 1994 г. наблюдения производились с помощью волномера-перспектометра ГМ-12 и волномерной вежи, установленной на глубине 4 м в 59 м от берега. С 1995 г. наблюдения за волнением ведутся визуально из-за отсутствия волномера. Измерения характеристик волнения в Стерегущем производились полуинструментальным методом с помощью волномера-перспектометра ГМ-12 и волномерного буя, установленного на глубине 8 м в 250 м от волномера. Используются данные этой станции с 1954 по 1964 гг.

Недостатком полуинструментальных и визуальных наблюдений является недостаточная (по сравнению с волнографами) точность измерений. Тем не менее, наблюдения на станциях производились регулярно на протяжении длительных периодов времени, что существенно сглаживает недостатки рядов наблюдений и повышает достоверность режимных статистических характеристик волнения. Основное внимание уделено характеристике высот волн, анализу их изменчивости во времени и по направлениям распространения.

3.6.2 Высота волн

На рис. 3.19 и в табл. 3.6 представлена повторяемость различных градаций высот волн по месяцам года. Градации волн выбраны на основании стандартной шкалы степени волнения и соответствуют баллам волнения. Внутригодовое распределение величин суммарной повторяемости волнения ≥ 3 баллов, а также штормового волнения ≥ 4 баллов и слабого волнения ≤ 1 балла указывает на существенные сезонные различия характеристик ветрового волнения. В соответствии с особенностями режима ветра, максимальная интенсивность ветрового волнения приходится на холодный период года – с октября по март. В ноябре – марте значения повторяемости волнения ≥ 3 баллов, вычисленные по полному ряду станции Черноморское, составляют 8-9 % всех случаев наблюдений. В период 1954 – 1964 гг. повторяемость такого волнения здесь достигает 14-18 %, а в районе Стерегущего – только 10-13 %. На рис. 3.20а приведены суммарные величины повторяемости волнения ≥ 75 см, которые показывают, что в это десятилетие повторяемость умеренного и сильного волнения в течение всех месяцев года была выше, чем за весь период наблюдений в Черноморском. Повторяемость штормового волнения в 4 балла и более (>126 см) зимой в районе Черноморского составляет 1,6-2,1 %, а в районе Бакальской косы – не более 1 % (рис. 3.19). Повторяемость случаев штиля и слабого волнения (<25 см) в зимние месяцы в районе Черноморского (десятилетний ряд) наименьшая (38-45 %), в районе Стерегущего за этот же период 54-65 %, а по полному ряду Черноморского порядка 50 % (рис. 3.20б).

В летний период повторяемость сильного волнения на обеих станциях изменялась в пределах 2-7 %. Минимальная повторяемость штормов практически везде отмечена в мае и июле. Именно в мае отмечены максимумы повторяемости слабого волнения (63-74 %) (рис. 3.20, б). При этом для всех станций и периодов характерно увеличение повторяемости волнения в марте, июне и ноябре (рис. 3.19).

В целом за год величины повторяемости сильного волнения (≥ 4 балла) распределяются между станциями следующим образом: Черноморское (полный ряд) – 0,5 %, Стерегущий – 0,24 %, Черноморское (десятилетний ряд) – 1,6 % (табл. 3.6).

Рис. 3.19 – Годовой ход повторяемости (%) ветрового волнения (умеренного и штормового) на береговых станциях Черноморское и Стерегущий

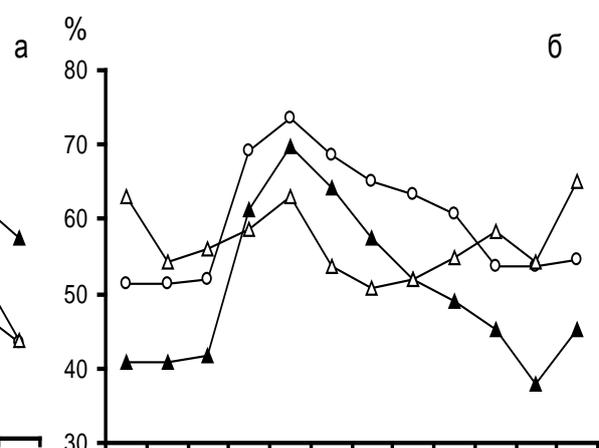
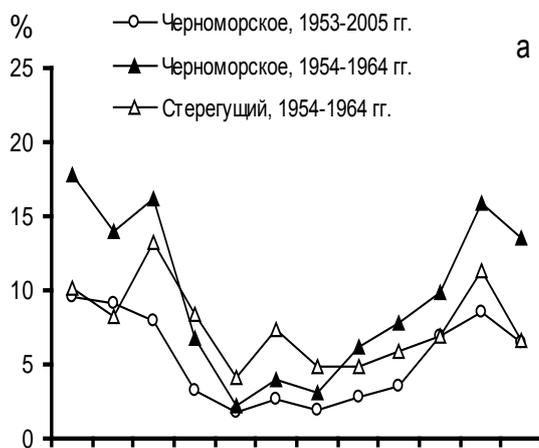
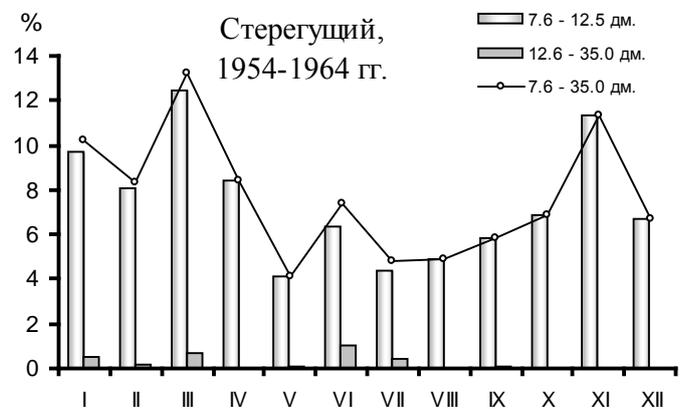
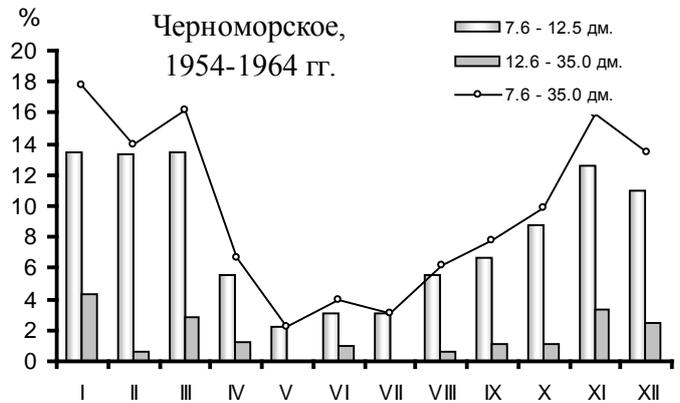
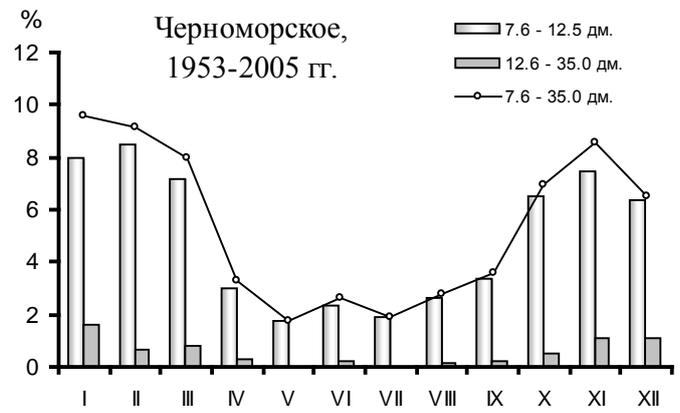


Рис. 3.20 – Сравнительные изменения повторяемости (%) штормового (>75 см, а) и слабого (<25 см, б) ветрового волнения на береговых станциях

Таблица 3.6 – Повторяемость (%) градаций (баллов) высот волн (дм) по месяцам года

Градации	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Черноморское, 1953 – 2005 гг.													
0	2,2	1,8	3,5	5,3	5,6	4,0	3,7	4,4	3,9	3,4	2,3	1,7	3,6
1 балл, 0,1 – 2,5	49,3	49,4	48,4	63,9	68,1	64,7	61,6	59,1	56,9	50,4	51,4	52,9	57,1
2 балла, 2,6 – 7,4	39,0	39,7	40,1	27,6	24,5	28,7	32,8	33,8	35,7	39,2	37,7	37,9	34,2
3 балла, 7,5 – 12,5	8,0	8,5	7,2	3,0	1,8	2,4	1,9	2,7	3,4	6,5	7,4	6,4	4,6
4 балла, 12,6 – 20,0	1,44	0,69	0,81	0,29	0	0,22	0	0,12	0,2	0,49	1,11	1,13	0,48
5 баллов, 21 – 35	0,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01
Черноморское, 1954 – 1964 гг.													
0	2,2	2,1	4,3	7,3	8,8	8,1	8,4	7,6	5,5	6,5	4,3	2,6	5,7
1 балл, 0,1 – 2,5	38,5	38,8	37,5	54,0	61,0	56,2	49,1	44,2	43,4	38,9	33,5	42,5	44,9
2 балла, 2,6 – 7,4	41,5	45,2	42,0	32,0	28,0	31,7	39,4	42,0	43,4	44,8	46,3	41,5	39,7
3 балла, 7,5 – 12,5	13,4	13,3	13,4	5,5	2,2	3,1	3,1	5,5	6,7	8,7	12,6	11,0	8,2
4 балла, 12,6 – 20,0	3,53	0,64	2,79	1,18	0	0,94	0	0,66	1,07	1,14	3,32	2,46	1,49
5 баллов, 21 – 35	0,81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,07
Стерегущий, 1954 – 1964 гг.													
0	2,0	2,6	4,2	2,4	2,3	1,7	2,6	3,1	2,7	2,7	2,8	3,8	2,8
1 балл, 0,1 – 2,5	60,9	51,7	51,8	56,3	60,8	52,1	48,2	48,8	52,3	55,5	51,3	61,3	54,2
2 балла, 2,6 – 7,4	26,9	37,5	30,8	32,9	32,8	38,8	44,4	43,2	39,0	34,9	34,5	28,2	35,6
3 балла, 7,5 – 12,5	9,7	8,1	12,5	8,4	4,1	6,4	4,4	4,9	5,9	6,8	11,4	6,7	7,3
4 балла, 12,6 – 20,0	0,52	0,15	0,71	0	0	1,01	0,39	0	0,1	0	0	0	0,23
5 баллов, 21 – 35	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0,01

3.6.3 Направление распространения волн

Преобладающие направления распространения волн определяются направлением ветра, вызывающего волнение, влиянием рефракции на мелководье при косом подходе волн относительно направления изобат, а также явлением дифракции при огибании системой волн препятствий в виде мысов и кос, других выступов берега или мелководных участков шельфа. В районе каждого из пунктов наблюдений за волнением (Черноморское и Стерегущий) явления рефракции или дифракции волн оказывают заметное влияние на распределение повторяемости направлений распространения волн, т.к. каждый из них расположен в бухтах, соответственно, Узкой и Бакальской. Вероятно, этим объясняются различия преобладающих направлений распространения волнения (рис. 3.21).

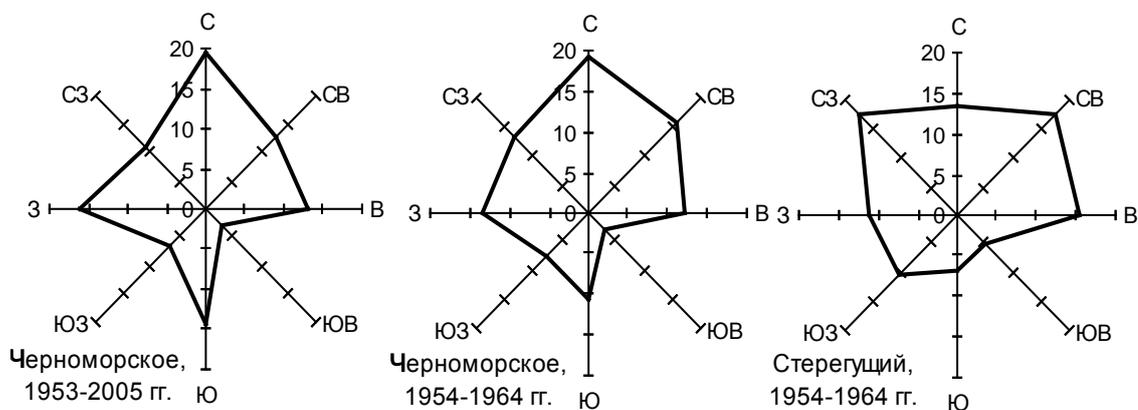


Рис. 3.21 – Розы суммарной повторяемости (%) ветрового волнения по данным береговых станций на северо-западном побережье Крыма

В целом, у северо-западного побережья Крыма наибольшую повторяемость имеют штормы северо-восточного, восточного, северного и северо-западного направлений. В районе Черноморского наибольшую повторяемость имеет волнение северного (19,5 %), северо-восточного (15,7 %) и западного (16,3 %) направлений, что соответствует преобладающим направлениям ветра. По данным станции Стерегущий преобладающими направлениями распространения волнения являются северо-восточное и северо-западное (по 17,6 %), а также восточное (15,5 %) и северное (13,3 %) направления (табл. 3.7).

Повышенная повторяемость в основном слабого волнения отмечена наблюдателями также от юга и юго-запада, т.е. с берега, что можно отнести к погрешностям наблюдений над волнением (рис. 3.21, табл. 3.7). Что касается умеренного и штормового волнения (>75 см), то наиболее волноопасными являются, естественно, только румбы со стороны моря (рис. 3.22). Однако, если для обеих станций преобладающей является повторяемость ветров северного, западного и восточного румбов, то наиболее волноопасным является северо-восточное направление распространения волн (2,3-3,3 %), а также северное (1,8-2,7 %) и восточное (1,5-1,7 %). С северо-запада (1,5 %) к обоим пунктам подходит в основном дифрагированные восточным мысом бухты Узкой и Бакальской косой штормовые волны. Однако, именно от этого направления в Стерегущем было отмечено волнение силой в 5 баллов. В районе Черноморского штормовое волнение высотой более 2 м развивалось от северо-восточного и северного направлений. За последние 55 лет волнение, превышающее 125 см, наблюдалось в Черноморском 215 раз (из них 133 в период 1954-1964 гг.). Волны высотой ≥ 2 м наблюдались 6 раз, но все они, как и абсолютный максимум (2,6 м), отмечены в периоды январских штормов. В Стерегущем за 10 лет наблюдений волнение, превышающее 125 см, наблюдалось 26 раз, а волнение высотой ≥ 2 м наблюдалось 1 раз (3 м) в период майского шторма в 1955 г.

Таблица 3.7 – Повторяемость (%) градаций (баллов) высот волн (дм) по направлениям, суммарная повторяемость и режимная обеспеченность высот волн

Высота волны, дм.	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Повт.	Обеспеч.
Черноморское, 1953 – 2005 гг.										
0									3,63	100
1 балл, 0,1 – 2,5	8,95	4,13	7,44	2,60	11,84	5,37	11,31	5,49	57,13	96,37
2 балла, 2,6 – 7,4	9,06	7,12	4,79	0,15	2,53	1,30	4,50	4,71	34,16	39,24
3 балла, 7,5 – 12,5	1,36	1,22	0,75	0,01	0,04	0,06	0,41	0,73	4,58	5,08
4 балла, 12,6 – 20,0	0,12	0,17	0,09	0	0	0	0,05	0,07	0,48	0,5
5 баллов, 21 – 35	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01
Сумма	19,50	12,65	13,07	2,76	14,40	6,73	16,26	10,99	100	
Черноморское, 1954 – 1964 гг.										
0									5,7	100
1 балл, 0,1 – 2,5	6,90	3,33	4,61	2,48	8,46	5,37	8,43	5,30	44,89	94,3
2 балла, 2,6 – 7,4	9,73	8,99	5,89	0,23	2,16	1,92	4,51	6,27	39,71	49,41
3 балла, 7,5 – 12,5	2,31	2,61	1,32	0,03	0,06	0,08	0,4	1,34	8,16	9,71
4 балла, 12,6 – 20,0	0,35	0,66	0,22	0	0	0	0,09	0,17	1,49	1,55
5 баллов, 21 – 35	0,01	0,04	0	0	0	0	0	0,01	0,07	0,07
Сумма	19,31	15,64	12,04	2,75	10,67	7,37	13,44	13,08	100	
Стерегущий, 1954 – 1964 гг.										
0									2,75	100
1 балл, 0,1 – 2,5	5,75	6,90	5,97	4,53	6,59	9,87	6,36	8,20	54,19	97,25
2 балла, 2,6 – 7,4	5,83	8,43	7,77	0,42	0,11	0,50	4,59	7,91	35,55	43,06
3 балла, 7,5 – 12,5	1,66	2,19	1,69	0,03	0,01	0,01	0,2	1,48	7,27	7,51
4 балла, 12,6 – 20,0	0,09	0,11	0,02	0	0	0	0,01	0,01	0,23	0,24
5 баллов, 21 – 35	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01
Сумма	13,33	17,63	15,45	4,98	6,71	10,38	11,16	17,62	100	

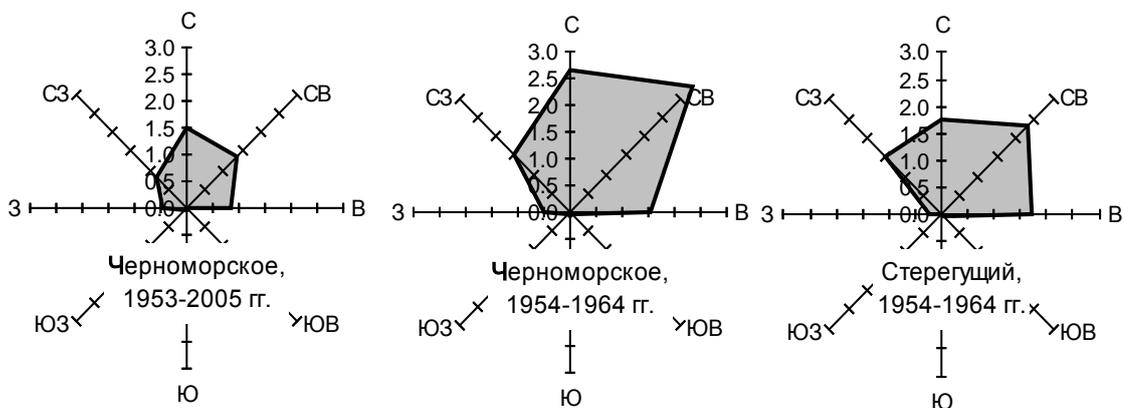


Рис. 3.22 – Розы повторяемости (%) штормового волнения (>75 см) по данным береговых станций

3.6.4 Сезонные изменения волнения

В сезонных изменениях волнения у северо-западного побережья Крыма преобладает повторяемость направлений северной половины горизонта (рис. 3.23). От южных и юго-западных румбов наблюдается, в основном, слабое волнение ≤ 25 см. На рис. 3.24 и 3.25 представлены месячные розы штормового волнения. Штриховкой выделена повторяемость волнения ≥ 3 баллов. В районе станции Черноморское в холодный период года преобладает волнение северного, северо-восточного и восточного направлений, повторяемость которых изменяется от 1,5 до 3,5 % от всех случаев наблюдений. Летом повторяемость волнения указанных градаций снижается до 0,5-1,0 %.

В районе Стерегущего в 10-летний период штормовое волнение во все месяцы года было интенсивнее (рис. 3.25). Здесь кроме северных, северо-восточных и восточных направлений выделяется северо-западное направление распространения волн, а величины повторяемости штормов увеличиваются до 4-5 % зимой и 1,5-2,5 % летом. Эти различия связаны, вероятно, с разными периодами наблюдений. Выше было показано, что период 1954-1964 гг. выделяется из всего ряда наблюдений повышенной штормовой активностью.

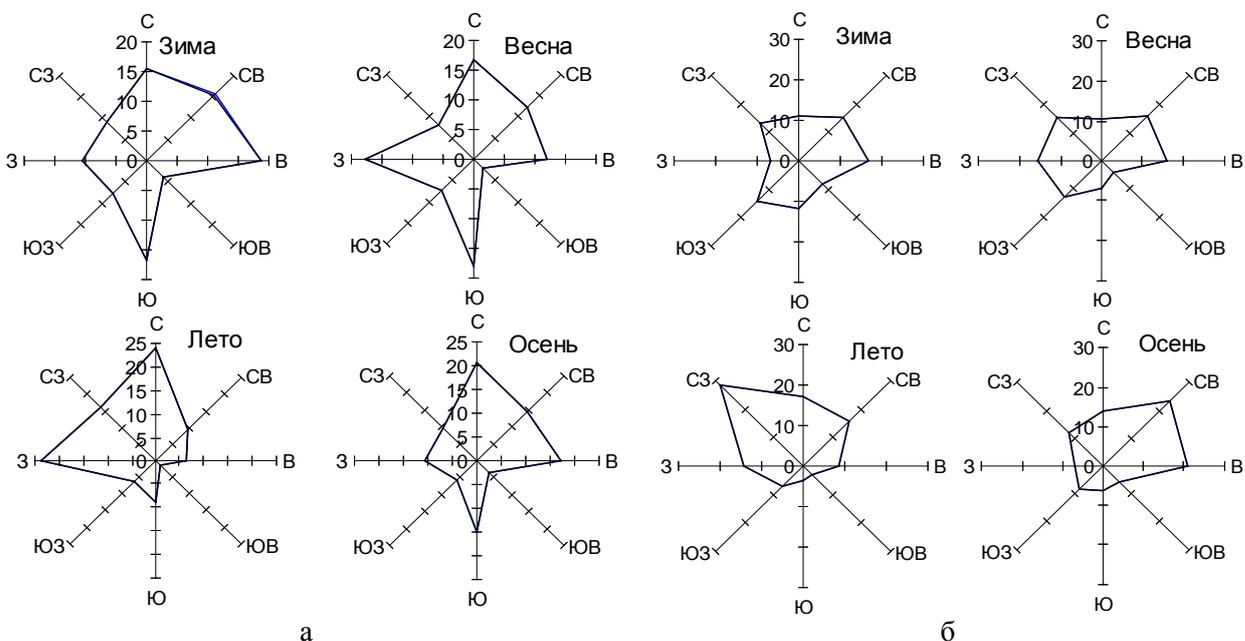


Рис. 3.23 – Сезонные розы суммарной повторяемости (%) ветрового волнения по данным станций Черноморское (1953 – 2005 гг., а) и Стерегущий (1954 – 1964 гг., б)

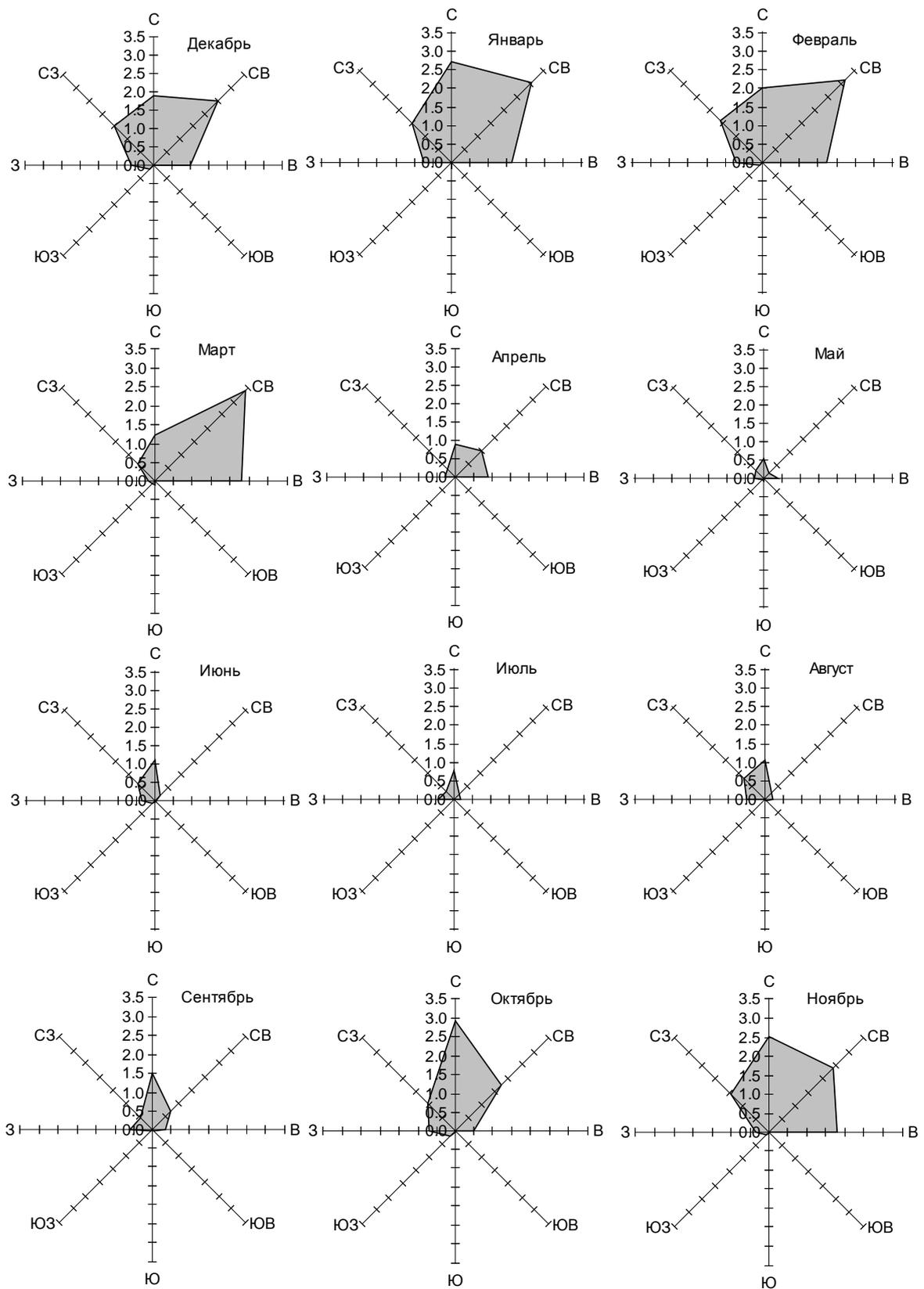


Рис. 3.24 – Месячные розы повторяемости (%) штормового (0,76 – 3,50 м) волнения по данным станции Черноморское (1953 – 2005 гг.)

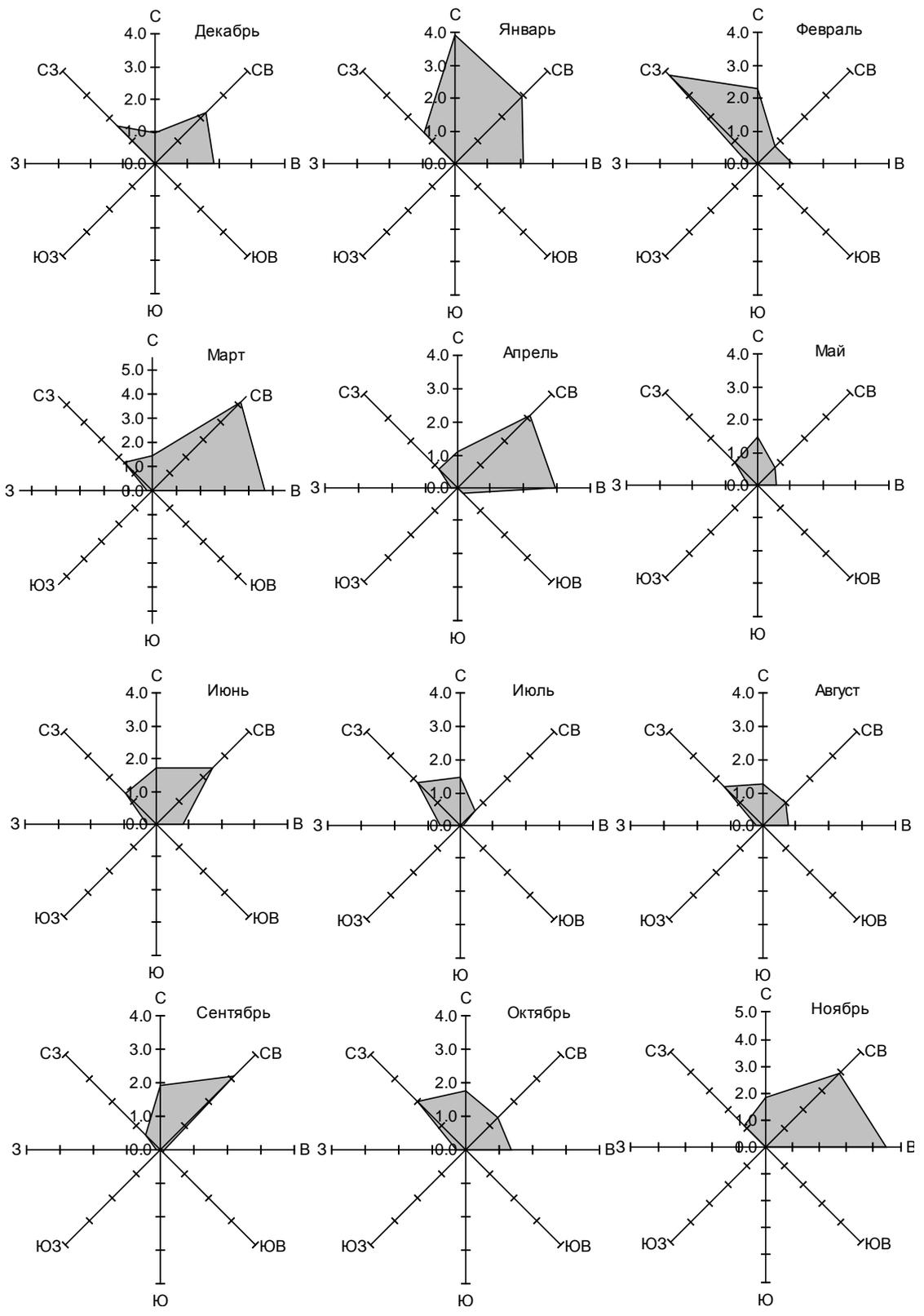


Рис. 3.25 – Месячные розы повторяемости (%) штормового (0,76 – 3,50 м) волнения по данным станции Стерегущий (1954 – 1964 гг.)

3.6.5 Максимальные высоты волн

Как следует из наблюдений на береговых станциях максимальные значения высот волн в районе северо-западного побережья Крыма не превышали 3 м. В районе Стерегущего 3 мая 1955 г. при восточном ветре силой 26 м/с отмечена максимальная волна высотой 3 м. В районе Черноморского гораздо чаще наблюдается волнение в 5 баллов и более, однако высоты волн более 2,6 м наблюдениями не зафиксированы (табл. 3.8). Между тем известно, что в северо-западной части моря достаточно часто наблюдается волнение высотой более 5 м. Например, в ноябре 1981 г. в районах мысов Херсонес и Тарханкут была отмечена высота волн 8 м, а в Одессе 5,1 м. При этом же шторме рефрагированное за м. Тарханкут волнение в Черноморском не превышало 1,5 м. В прибрежной зоне Крыма неоднократно высоты максимальных наблюдаемых волн превышали 7-8 м, а в открытых районах моря достигали 10 м. Рассматриваемый район расположен на востоке северо-западной части Черного моря и открыт для волнения направлений с максимальными разгонами волн от юго-запада и запада.

Таблица 3.8 – Максимальные наблюдаемые значения высот волн (дм)

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Черноморское (1953 – 2005 гг.)	26	20	20	20	12	16	12	13	20	16	20	20	26
Год	1954	1960	1959	1960	1955	1958	1957	1955	1960	1959	1954	1961	1954
Стерегущий (1954 – 1964 гг.)	15	16	13	12	30	15	19	11	13	12	12	12	30
Год	1955	1958	1958	1954	1955	1954	1957	1957	1957	1954	1954	1957	1955

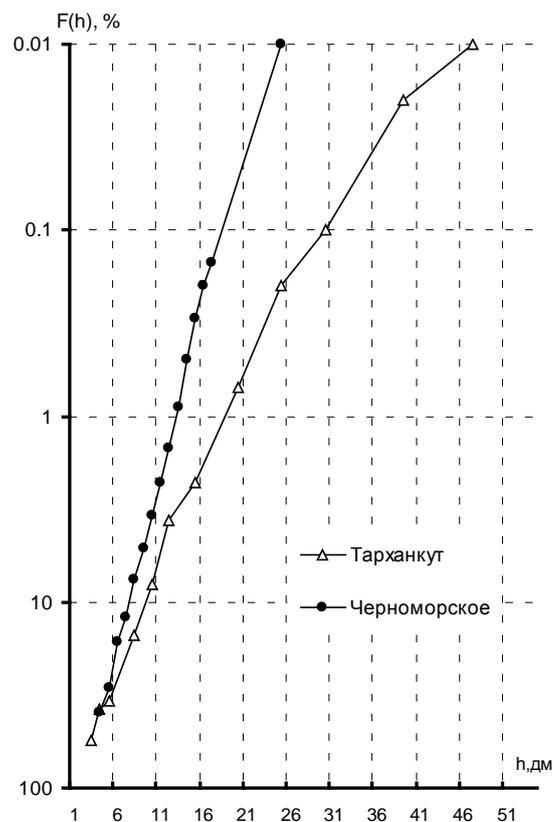
За 10-летний период наблюдений на станции Стерегущий волнение в 4 балла отмечено 26 раз, волнение, превышающее 2 м, наблюдалось только 1 раз. В Черноморском за этот же период наблюдений, соответственно, 133 и 6 раз. За весь период наблюдений в Черноморском (52 года) волнение в 4 балла и более наблюдалось 215 раз, а более 2 м – те же 6 раз. Большая часть этих случаев, как и абсолютные наблюдаемые максимумы, отмечены в периоды ноябрьских и январских штормов. Повторяемость штормового волнения по наиболее волноопасным направлениям приведена на рис. 3.24 и 3.25.

Каркинитский залив вытянут в зональном направлении, поэтому волновые условия следует характеризовать как сложные. Побережье подвержено влиянию штормов с юго-западной половины горизонта с максимальными разгонами волн, а также с северо-западной и северо-восточной четвертей с ветрами ураганной силы.

Для оценки экстремальных высот волн, воздействующих на побережье, при характеристике режима ветрового волнения широко используются режимно-климатические функции распределения параметров ветровых волн, которые дают представление о величине обеспеченности разных диапазонов высот волн. На рис. 3.26 в виде логарифмического графика представлены многолетние режимные функции распределения высот волн, рассчитанные по данным натурных наблюдений на станции Черноморское и, для сравнения, у мыса Тарханкут, волнение у которого, трансформируясь, все равно достигает северо-западного побережья Крыма. График дает представление о диапазоне изменчивости величин обеспеченности ветровых волн.

Из-за отсутствия надежных, длительных натурных (волнографических) наблюдений за волнением сведения о режиме волнения обычно получают расчетным путем. Однако анализ натурных и расчетных параметров режима волнения показал, что рассчитанные режимные параметры волн в основном подтверждаются данными волнографных и многолетних полуинструментальных измерений. Эти результаты указывают на целесообразность использования многолетних данных наблюдений за волнением на береговых пунктах для построения режимных функций распределения высот волн и использования их для определения высот волн заданной обеспеченности.

Рис. 3.26 – Многолетние режимные функции распределения высот волн по данным станций Черноморское и Тарханкутский маяк



С помощью номограммы с билогарифмической шкалой по экстраполированным областям кривых режимной обеспеченности более точно были определены величины высот волн, возможные один раз в n лет, которые сведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Высота волн (м), возможная один раз в n лет

Временной интервал	Год	5 лет	10 лет	25 лет	50 лет	100 лет
Режимная обеспеченность, %	1,4	0,27	0,14	0,054	0,027	0,014
Черноморское	1,7	2,1	2,3	2,6	2,9	3,2
Тарханкут	2,7	3,2	3,8	4,3	5,0	5,4

Полуинструментальные наблюдения над волнением могут использоваться для расчета режимных параметров волн и обоснования расчетных методов. Однако их использование для этих целей будет оптимальным при условии точного определения величины обеспеченности значений, по которым построены натурные режимные функции распределения высот волн. Для этого необходимо в конкретных морфометрических условиях исследуемого района провести параллельные наблюдения по волномеру-перспектометру и измерения волн с помощью волнографа, затем увязать короткие ряды инструментальных измерений с многолетними полуинструментальными наблюдениями.

3.7 МЕЖГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕТРА И ВОЛНЕНИЯ

Для анализа временных изменений ветрового режима в зоне северо-западного побережья Крыма использовались ряды средней скорости ветра станций Черноморское и Стерегущий, ряды годовой повторяемости разных градаций скорости ветра и высот волн, а также ряды годовой повторяемости основных направлений ветра. Для расчета повторяемости (%) использовались массивы срочных (3-4 срока в сутки) измерений высот волн, скорости и направления ветра. При исследованиях межгодовой изменчивости средней скорости ветра анализировались, в основном, достаточно длинные ряды средних годовых и средних месячных величин станции Черноморское (1928 – 2005 гг.), которые не имеют перерывов кроме 4 лет периода Отечественной войны, когда наблюдения на станциях не производились. Данные 16-летнего ряда станции Стерегущий использовались для сопоставления с данными Черноморского и оценки степени сходимости рядов.

Из рис. 3.27, на котором представлены совмещенные ряды среднегодовой скорости ветра, следует, что в определенные периоды годовые величины обеих станций совпадают; в другие периоды данные Стерегущего занижены на 0,5-0,8 м/с, а средние за синхронные годы значения отличаются только на 0,4 м/с. Таким образом, данные станции Черноморское вполне пригодны для оценки межгодовой изменчивости ветрового режима в районе Бакальской косы.

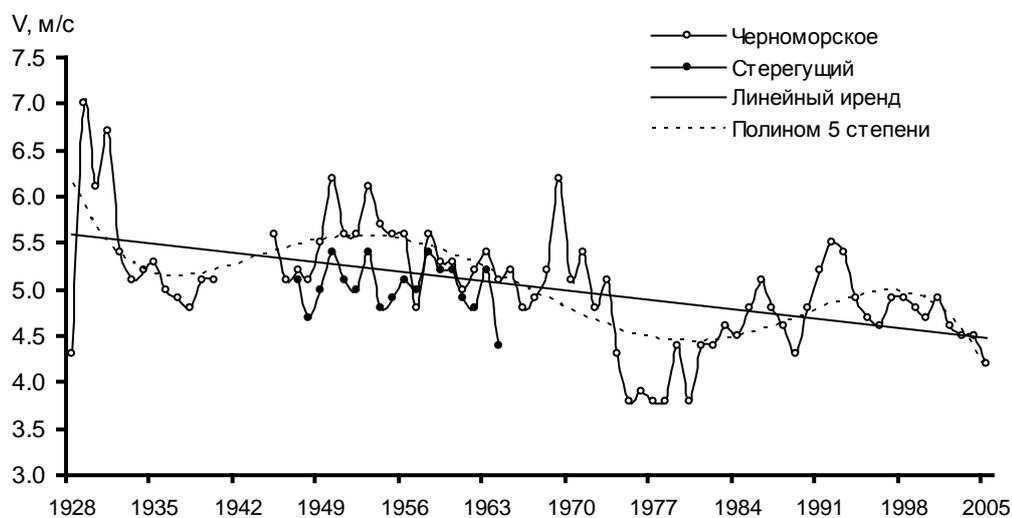


Рис. 3.27 – Межгодовые изменения среднегодовых величин скорости ветра по данным станций Черноморское и Стерегущий

Для расчета линейного тренда ряда и оценки его статистической значимости использовался набор статистических параметров, расчетом которых обычно сопровождается оценка коэффициентов уравнения линейной регрессии, описывающих наклон линии тренда. При этом рассчитывались отношение величины коэффициента наклона к стандартной ошибке его определения (t-статистика), отношение F среднего квадрата значений V , описываемых регрессией, к среднему квадрату остатков и коэффициент детерминации R^2 , характеризующий долю дисперсии, учитываемой аппроксимирующей зависимостью, в суммарной дисперсии ряда. При найденных для тренда величинах t и F с помощью соответствующих распределений вероятности находились величины значимости оценки тренда P_0 . Значимой принималась оценка тренда, при которой $P_0 \leq 0,05$, т.е. гипотеза о наличии значимого тренда подтверждается с вероятностью $100(1 - P_0) \geq 95$ %. Для рассматриваемого ряда тренд оказался значимым по критериям Фишера и Стьюдента. Как следует из табл. 3.10, уровень его значимости составляет 100 % (при $R^2 > 0,11$ $P_0 = 0,000$).

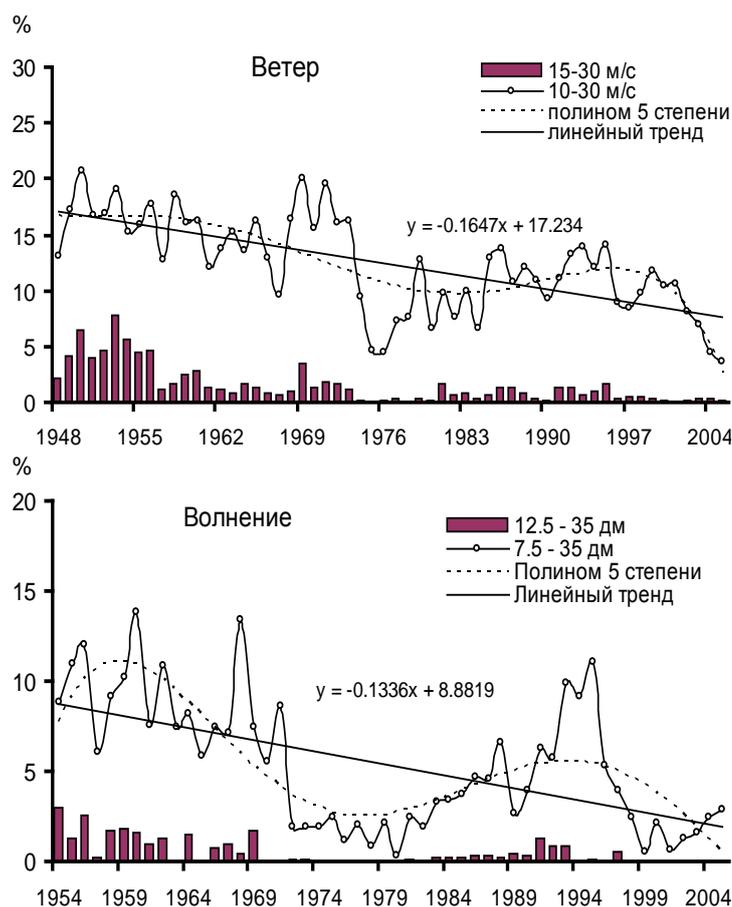
Таблица 3.10 – Характеристики линейных трендов годовых и сезонных (зима, лето) величин средней скорости ветра на станции Черноморское

Станция	Период, год	T_g , м·с ⁻¹ /год	R2	P0	D0.	ΔT_g , м/с	T_z , м·с ⁻¹ /год	Δz , м/с	T_l , м·с ⁻¹ /год	Δl , м/с
Черноморское	1928 – 2005	-0,014	0,271	0,000	1,56	-1,1	-0,019	-1,46	-0,011	-0,85

При расчете линейных трендов использовались исходные ряды среднегодовых и среднемесячных значений, без предварительного сглаживания скользящими фильтрами. Расчет сопровождался тестом на сериальную коррелированность ряда с помощью критерия Дурбина – Ватсона (D_0), который предполагает отсутствие таковой при D_0 от 1,51 до 2,96. Таким образом, угловой коэффициент тренда среднегодовой скорости ветра (T_g) составил $-0,014$ м·с⁻¹/год, а общее уменьшение величины годовой скорости (ΔT_g – разность между последним и первым значениями тренда) за 77-летний период составило 1,1 м/с. Понижение средней скорости ветра отмечается во все сезоны года, причем наиболее интенсивно оно происходит в зимний сезон (T_z , Δz , табл. 3.10).

Для оценки межгодовой изменчивости штормового ветра и волнения для последних 57 лет (1948 – 2005 гг.) и 51 года (1954 – 2005 гг.) по данным каждого года рядов срочных наблюдений на станции Черноморское были рассчитаны значения повторяемости градаций сильного ветра (≥ 10 и ≥ 15 м/с) и штормового волнения в 3 и более баллов (≥ 75 см), а также 4 и более баллов (≥ 125 см). Из графиков многолетней изменчивости повторяемости сильного ветра и штормового волнения (рис. 3.28) следует, что в период 50 – 60 годов XX века наблюдалась высокая интенсивность ветра и волнения. На станции Черноморское в этот период повторяемость ветров ≥ 10 м/с достигала 18-20 %, а ≥ 15 м/с – 5-8 % в год. Повторяемость штормового волнения ≥ 3 баллов достигала 10-14 %, а волнения ≥ 4 баллов – 1,5-3,0 % в год.

Рис. 3.28 – Межгодовая изменчивость величин повторяемости сильных ветров (вверху) и штормового волнения (внизу) по данным станции Черноморское



В 70-80-е годы наблюдался определенный спад ветроволновой активности. В 90-е годы повторяемость волнения ≥ 3 баллов вновь увеличилась до 9-11 %, а ≥ 4 баллов не превышала 1,3%. Оба параметра аппроксимируются отрицательными линейными трендами, при этом угловой коэффициент тренда для ветра превышает коэффициент тренда для волнения. Соответственно, величины размахов трендов составляют 9 и 7 % повторяемости сильного ветра и волнения. Близость характеристик трендов для повторяемости сильных ветров и штормового волнения может служить подтверждением надежности используемых рядов независимых наблюдений (рис. 3.29).

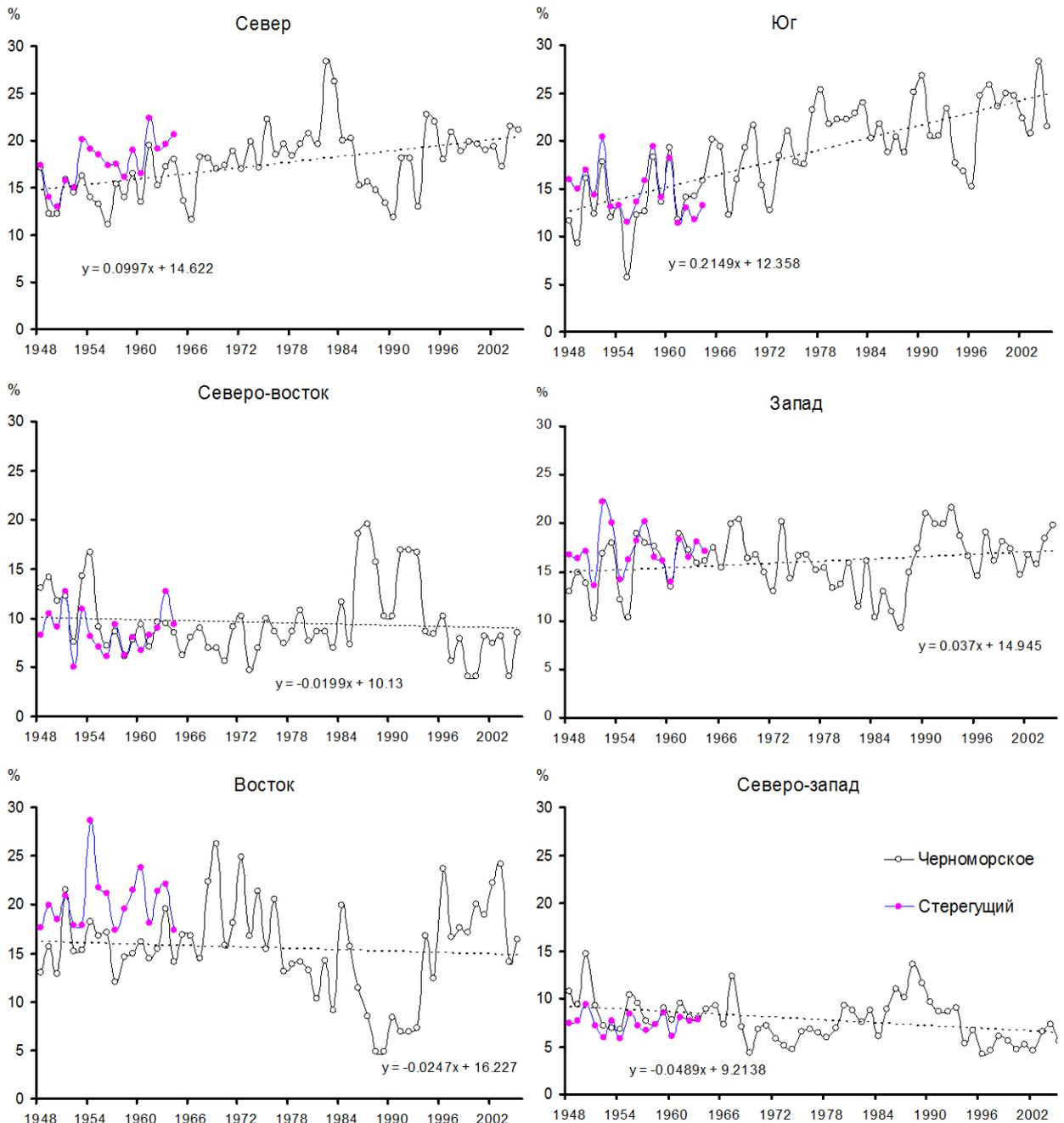


Рис. 3.29 – Межгодовая изменчивость повторяемости (%) направлений ветра (1 – 30 м/с) на станции Черноморское. Для периода 1948 – 1964 гг. показаны совмещенные графики повторяемости направлений ветра на станциях Черноморское и Стерегущий

3.8 УРОВЕНЬ МОРЯ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КРЫМА

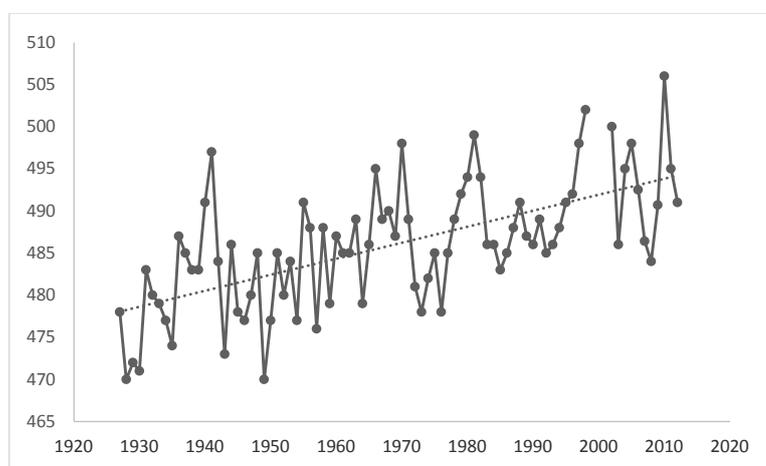
3.8.1 Межгодовая изменчивость уровня

Анализ уровня моря в западной части Крыма базируется на данных ГМС Черноморское – ближайшего к Бакальской косе пункта, на котором регулярно ведутся наблюдения за уровнем. Он расположен в 45 км юго-западнее Бакальской косы, на южном берегу бухты Узкой. Ширина бухты между входными мысами около 4,3 км, далее бухта суживается до 0,5 км. Берега скалистые обрывистые. Южный берег бухты, где расположен пгт Черноморское, отлогий. Наибольшие глубины (10-13 м) находятся у входа в бухту, в средней части бухты глубины около 5-6 м, в вершине бухты менее 2 м. Глубоководная часть бухты сужена отмелями, идущими от входных и внутренних мысов. Грунт – ракушка с песком. Наблюдения проводятся по уровенной рейке, установленной на отдельной металлической свае с западной стороны рыбацкого причала. Глубина в месте установки 2 м. Наблюдения проводятся с 1927 года. В течение 1941-1944 и 1998-2002 гг. наблюдения не проводились. Сроки наблюдений – 7, 13, 21 час (1927-1935 гг.); 1, 7, 13, 19 час (1936-1941, 1944-1960 гг.); 3, 9, 15, 21 час (1961-1966 гг.), 9, 15, 21 час (1967-2006 гг.). Класс нивелирования основного репера – II. Отметка основного репера (3,648 м) находится в цоколе каменного амбара «Заготзерно», отметка другого репера (16,902 м), который находится на северо-восточной окраине пгт Черноморское у развилки дорог Раздольное – Черноморское – Артемовское, на горизонтальной площадке моста.

Средний уровень моря в Черноморском за период 1927-2012 гг. составил 486 см, при среднегодовом минимуме 470 см (1928 г.) и максимуме 506 см (2010 г.).

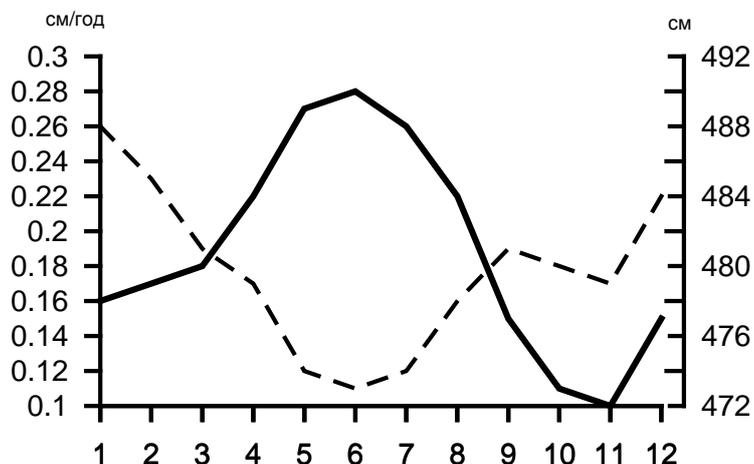
На рис. 3.30 представлены изменения среднегодовых значений уровня за весь период наблюдений. Из него видно, что межгодовые колебания уровня в среднем составляют 10-15 см. При этом характерны периоды колебаний в 2-5 и 8-10 лет. Значимой изменчивости с периодом более 21 года не наблюдается. На фоне межгодовых колебаний уровня хорошо заметна тенденция к его увеличению, которая на рис. 3.30 представлена прямой линией. Расчет углового коэффициента линейного тренда (тенденции) дает величину +2,0 мм/год. Эта величина соответствует средней величине тренда для Черного моря. Таким образом, можно считать, что за период 1927-2012 гг. относительный уровень моря в Черноморском повысился на величину около 16 см.

Рис. 3.30 – Межгодовые колебания уровня моря в Черноморское



На рис. 3.31 показаны средний сезонный ход уровня моря в Черноморском и величины угловых коэффициентов трендов для каждого месяца. Заметно, что во все месяцы наблюдается положительный тренд, причем, особенно большой в холодную половину года. Характерно, что кривые находятся в противофазе, т.е. в июне, когда наблюдается годовой максимум уровня, связанный с максимумом стока рек, наблюдается минимальный угловой коэффициент тренда.

Рис. 3.31 – Сезонный среднееголетний ход уровня моря в Черноморском (сплошная кривая) и помесячные величины тренда (левая шкала) (1927 – 2012 гг.). По оси абсцисс – месяцы



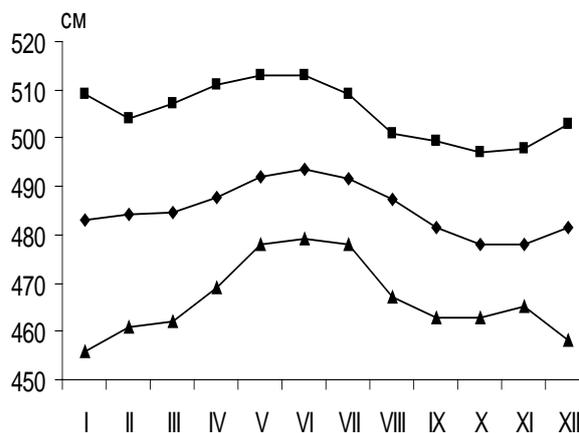
3.8.2 Сезонный ход уровня

Изменения уровня на западном побережье Крыма, как и в Черном море в целом, носят выраженный сезонный характер, который определяется соотношением составляющих водного баланса в течение года. Сезонные изменения зависят не только от соотношения компонентов водного баланса в данный конкретный год, но также и от состояния его в предшествующий период. Представление о величине и характере сезонного хода уровня в Черноморском дают табл. 3.11 и рис. 3.32.

Таблица 3.11 – Среднееголетние средние, минимальные и максимальные месячные значения уровня

Уровень, см	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средний	483	484	485	488	492	494	492	487	481	478	478	481
Минимальный	456	461	462	469	478	479	478	467	463	463	465	458
Максимальный	509	504	507	511	513	513	509	501	499	497	498	503

Рис. 3.32 – Годовой ход максимального, среднего и минимального среднемесячного уровня в Черноморском



Наибольшие средние значения уровня приходятся на летний сезон, когда уровень превышает среднееголетний на 9 см. На это же время приходится и максимум стока рек, который является определяющим для уровня режима Черного моря. Среднееголетний максимум стока приходится на май, а уровня на июнь. В конце осени – начале зимы, из-за уменьшения речного стока и увеличения испарения, уровень имеет самые низкие значения, на 7-9 см меньше среднееголетнего. Среднееголетний минимум приходится на ноябрь. В отдельные годы, ввиду аномального соотношения компонентов водного баланса, такой порядок может нарушаться. Среднееголетний размах годового хода составляет в Черноморском 16 см. Время наступления максимума

уровня наиболее устойчиво к норме (рис. 3.33). В подавляющем числе случаев (54 %) он приходится на июнь, а на май только 19 %. В отличие от максимума, минимум уровня по времени менее устойчив к своей норме. Наименьшие средние месячные уровни отмечались во все месяцы, за исключением периода май – июль (рис. 3.33). Наиболее часто минимальные значения в Черноморском отмечаются в октябре (25 % случаев) и ноябре (19 %). В остальные месяцы они фиксируются от 1 до 13 % всех случаев. Как уже отмечалось, сезонный ход уровня в наибольшей степени согласуется с сезонным ходом речного стока. В октябре – марте рост уровня относительно небольшой, с апреля он резко возрастает, в связи с увеличением притока речных вод и достигает максимума в июне. Период спада (июнь – октябрь) уровня короче периода подъема, и величина уменьшения уровня относительно стабильна.

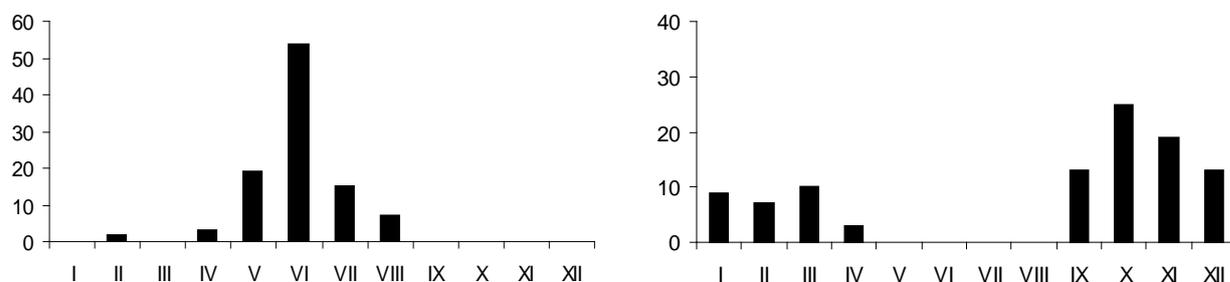


Рис. 3.33 – Количество случаев годового максимума (слева) и минимума (справа) уровня моря по месяцам (%)

3.8.3 Экстремальные значения уровня

Экстремальные значения уровня имеют наиболее существенное значение для процессов разрушения берегов. Как правило, экстремальные величины наблюдаются в период протекания штормовых сгонно-нагонных процессов. В табл. 3.12 приведены полученные по срочным данным соответствующие значения за период 1927 – 2012 гг.

Таблица 3.12 – Максимальные, минимальные срочные значения уровня и их разница

Уровень, см	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Максимум	523	532	523	518	536	535	524	512	511	511	523	520
Минимум	442	444	450	454	460	461	465	452	448	442	445	452
Разница	81	88	73	64	76	74	59	60	63	69	78	68

Необходимо отметить, что для района Бакальской косы величины штормовых нагонов могут быть существенно больше, чем в Черноморском, поскольку конфигурация берега и рельеф дна особенно благоприятны для нагонов при штормовых южных и юго-западных ветрах. Это наглядно видно, например, по данным об уровне ГМС Хорлы, находящейся в северной вершине Каркинитского залива.

3.9 ХАРАКТЕРИСТИКА ЗООБЕНТОСА КАРКИНИТСКОГО ЗАЛИВА

Каркинитский залив – один из наиболее продуктивных районов Чёрного моря, что определяет интерес к его фауне. Исследования бентоса проводились, в основном, в центральной и западной, относительно глубоководной части залива (Повчун, 1990; Терентьев, 2001). Информация о донной фауне восточной мелководной части залива ограничивается данными 70-летней давности (Арнольди, 1949), когда было проведено первое и наиболее детальное исследование, показавшее чрезвычайно разнообразие и количественное богатство макрозообентоса этого района. Хозяйственная деятельность человека (строительство Северо-Крымского канала, создание системы рыбоводных прудов, оросительное земледелие) – привели к изменению гидрологии и гидрохимии залива. В его кутовой части солёность воды понизилась до 2-3‰, а в отдельные сезоны пониженная солёность наблюдалась на всём забакальском участке. Это не могло не отразиться на составе и распределении бентоса. С 2015 г. работа Северо-Крымского канала прекращена и, соответственно, поступление пресных вод в Каркинитский залив сведено фактически к уровню 50-летней давности.

В 1994 г. было исследовано донное сообщество малого филлофорного поля, расположенного на акватории Каркинитского залива восточнее Бакальской косы на материале 41 дночерпательной пробы, собранной на глубине от 6 до 13 м на песчано-ракушечных грунтах (Терентьев, 2001). Мелководность, а также заросли красной водоросли (*Phyllophora sp.*), средняя биомасса которой равнялась $1200 \pm 350 \text{ г/м}^2$, создали особые условия для развития донного сообщества. На обследованной акватории поля было обнаружено 32 вида животных: двустворчатые моллюски (*Abra ovata*, *Cerastoderma glaucum*, *Chamelea gallina*, *Gastrana fragilis*, *Irus irus*, *Loripes lucinalis*, *Modiolus adriaticus*, *Mytilaster lineatus*, *Mytilus galloprovincialis*, *Polititapes aurea*, *P. petalina*, *Spisula subtruncata*), брюхоногие моллюски (*Calyptrea chinensis*, *Gibbula albida*, *Nassarius reticulatus*). Большую часть видов (38%) представляли двустворчатые моллюски. Самая высокая численность наблюдалась у *Mytilaster lineatus* ($15,2 \text{ экз/м}^2$), биомасса – у *Mytilus galloprovincialis* ($76,6 \text{ г/м}^2$). Интересно отметить, что такие массовые в большинстве биоценозов мягких грунтов виды двустворчатых моллюсков, как *Chamelea gallina* и *Cerastoderma glaucum*, были определены в этой работе, соответственно, как редкие ($0,17 \text{ экз/м}^2$, $0,07 \text{ г/м}^2$) или очень редкие. Несмотря на свою зрелость, сообщество малого филлофорного поля имело низкое видовое разнообразие, а особи различных видов были распределены очень неравномерно, что говорит о его уязвимости.

В 2007-2013 гг. сотрудниками ИнБЮМ были отобраны и проанализированы материалы с 86 бентосных станций на глубинах 0-35 м с целью составить представление о видовом составе макрозообентоса восточной части залива в условиях воздействия стоков Северо-Крымского канала и распреснения вод части залива (Болтачева и др., 2016). Согласно их данным, в макрозообентосе было обнаружено около 200 видов животных, в том числе 53 вида моллюсков (из них 22 вида гастропод, 30 – двустворчатых). Здесь были представлены виды, являющиеся в настоящее время редкими или исчезающими в других районах моря, например, двустворчатые моллюски *Flexopecten glaber*, *Donacilla cornea*. В заливе натурализовались ряд видов-вселенцев, в том числе моллюски *Rapana venosa* и *Anadara kagoshimensis*. На заиленных грунтах мелководья кутовой части залива доминирующими по биомассе являются двустворчатые моллюски *Abra segmentum*, *Loripes lacteus*, *Mytilaster lineatus*, на песчаных грунтах и ракушечнике – *Chamelea gallina*, *Flexopecten glaber*, *Gibbomodiola adriatica*. На илах, глубже 20 м, доминирует мидия *Mytilus galloprovincialis*, иногда – *Pitar rudis*.

Таким образом, судя по опубликованным данным, основными продуцентами раковинного материала в Каркинитском заливе являются двустворчатые моллюски *Chamelea gallina* (на рыхлых грунтах) и *Mytilus galloprovincialis* (в районе малого филлофорного поля).

Часть 4

ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ РЕКОГНОСЦИРОВОЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕРЕГОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

4.1 ПРОГРАММА, МЕТОДИКИ И ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ РАБОТ 2017 г.

Общая характеристика берегов Крымского полуострова, подготовленная по литературным и фондовым данным, приведена в предыдущей главе. Для получения актуальной информации о современном состоянии различных компонентов береговых геосистем Крыма, в 2017 году были выполнены экспедиционные исследования. Эти исследования носили рекогносцировочный характер, их целью был выбор репрезентативного тестового участка для дальнейшего детального изучения.

В 2017 г. в пределах Крымского п-ова проведен первый (рекогносцировочный) цикл экспедиционных работ. Экспедиция проводилась с 11.06 по 24.06.2017 г. Для передвижения участников экспедиции использовался служебный автотранспорт, протяженность пройденного пути составила около 3500 км. Исследовались преимущественно аккумулятивные берега западного и восточного побережий Крымского полуострова (рис. 4.1-4.3). Кроме того, исследованию подвергались участки абразионных берегов, являющиеся источниками наносов для аккумулятивных форм.

Обработка этого материала и его научный анализ позволит получить ценные региональные данные, необходимые для интерпретации результатов исследований как тестового участка в пределах Крыма, так и для сравнения с подобными береговыми геосистемами в других регионах. С использованием ряда полученных материалов при необходимости возможно дальнейшее проведение мониторинговых исследований, позволяющих получить данные о динамике различных компонентов береговых геосистем.



Рис. 4.1 – Схема исследованных участков северо-западного побережья Крыма

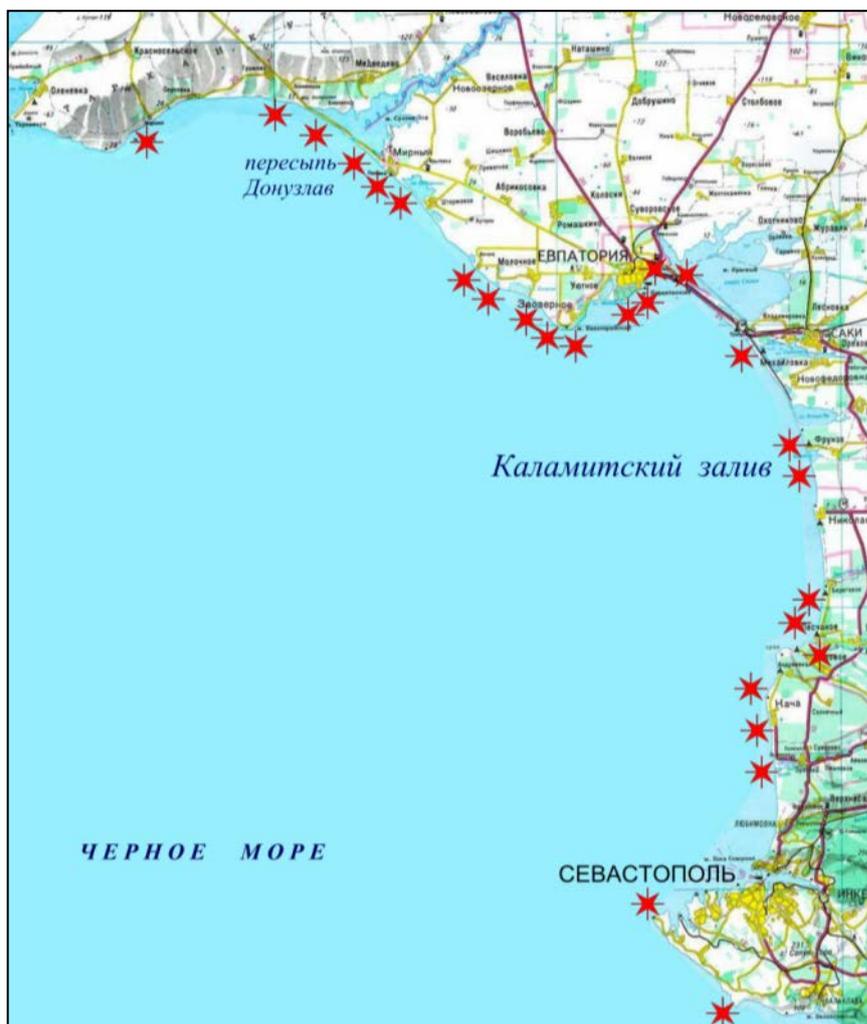


Рис. 4.2 – Схема исследованных участков западного побережья Крыма



Рис. 4.3 – Схема исследованных участков северо-западного побережья Крыма

Программа экспедиции включала в себя сухопутные работы и морские работы. 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. 4.4) 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.

Несмотря на сравнительно короткие сроки проведения экспедиции, выполнен большой объем полевых работ, необходимых для уточнения литературных и фондовых данных по строению берегов и протекающим процессам. Основной целью 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. Отмечались нарушения рельефа, связанные с природным и антропогенным воздействием. Определялся уровень и характер современного хозяйственного использования исследованных берегов. В пределах исследуемых участков берегов производилось маршрутное обследование, включающее в себя элементы морфометрических, литодинамических, геоботанических и других работ. Общая протяженность пеших маршрутов составила около 90 км. Проведение маршрутных работ сопровождалось фотографической съемкой с фиксацией географических координат. На отдельных участках был произведен отбор проб донных, пляжевых и дюнных отложений для исследования механического и вещественного состава. Кроме того, произведен отбор проб для определения количественных и структурных характеристик популяций раковинных моллюсков.

Отдельным видом работ стали дистанционные исследования труднодоступных участков берегов 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.



Рис. 4.4 – Система виртуальных опорных точек для Бакальской косы

4.2 ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ РАБОТ 2017 г. НА КРЫМСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

4.2.1 Визуальное обследование и аэрофотосъемка с БПЛА

Обеспечение оперативного мониторинга береговой зоны является одной из важнейших задач исследования берегов. В сравнении с другими видами съемок (натурными или дистанционными), съемка с использованием дронов позволяет обеспечить большую оперативность и любой временной шаг между съемками, что важно при мониторинге быстрых изменений берега или последствий опасных природных явлений. Кроме того, данный метод позволяет получить данные практически с любым пространственным разрешением. В отличие от космической и аэрофотосъемки, съемка с дронов дает возможность проводить мониторинг участков с высокими уклонами поверхности (до отвесных), что необходимо при изучении абразионных берегов с выраженными клифами. Возможность, наряду со статичными фотоснимками получать видеоизображение значительно повышает информативность данных. Таким образом, дистанционное зондирование с помощью дронов может и должно стать необходимым элементом экспедиционных исследований морских берегов.

В ходе работ 2017 г. на репрезентативных участках морских берегов производилась фото- и видеосъемка интеллектуальной камерой, установленной на дроне Phantom 4+Pro. Данный съемочный комплекс позволяет производить съемку при скорости ветра до 8 м/с на расстоянии до 2,3 км от точки старта.

Съемки проводились на различных типах морского берега: абразионно-обвальные (клифы у пос. Фрунзе и пересыпи оз. Богайлы), аккумулятивные – пересыпи систем морелагуна (оз. Богайлы, оз. Ойбурское, Донузлав), песчано-ракушные косы (Бакальская коса), антропогенно-измененные берега (пос. Заозерное, пос. Песчаное). Съемка каждого из объектов производилась на двух вариантах высоты полета (обеспечивающейся автоматически съемочной аппаратурой) – 100, 200 или 400 м, которая выбиралась в зависимости от конфигурации и линейных размеров исследуемого участка. Кроме того, был отдельно проведен мониторинг состояния труднодоступных участков береговой зоны (острова, абразионные участки берега, частные территории). На рисунках 4.5-4.7 приведены примеры обработки, полученной с помощью БПЛА информации.

Полученные фото и видео материалы планируется использовать в сочетании с прямыми измерениями морфометрических характеристик для:

- создания ортофотопланов и ЦМР для изучаемых участков берегов;
- определения размеров штормовых промоин в аккумулятивных телах;
- оценки объемов коллювиальных конусов на абразионно-обвальных берегах;
- оценки содержания и качества пляжеобразующего материала в клифах;
- оценки видов и степени антропогенного преобразования морского берега;
- для мониторинга динамики перечисленных характеристик при последующих повторных съемках.

При выявлении наиболее интересных и репрезентативных участков, планируется проведение комбинированной наземно-воздушной съемки, предполагающей получение точных данных о рельефе и построение цифровых моделей поверхности. Эти материалы и данные позволят сравнивать начальное состояние различных параметров береговой зоны, с их значениями после прохождения возможных опасных природных явлений и в ходе природной изменчивости.

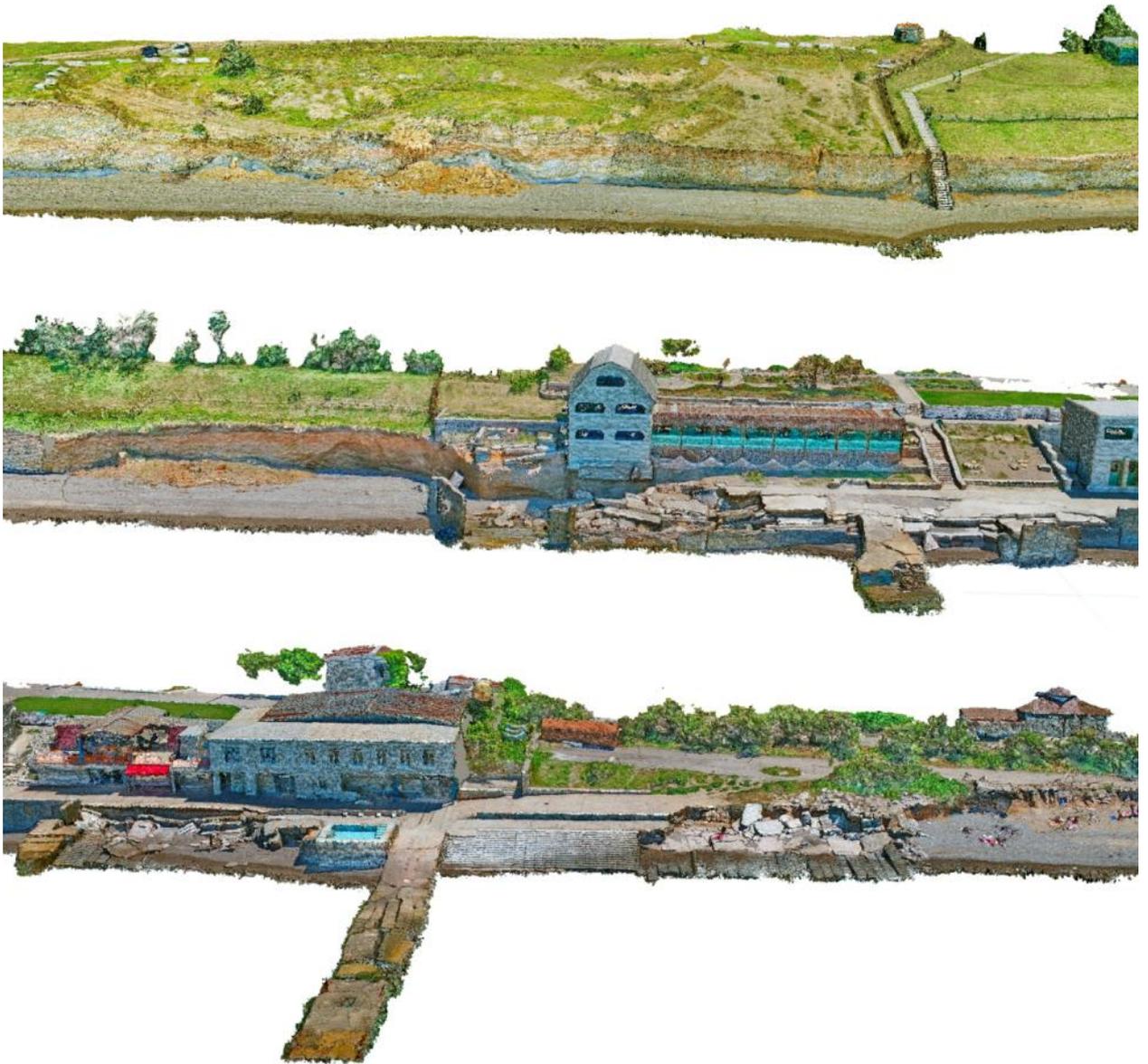


Рис. 4.5 – Разрушение абразионного берега и берегоукреплений в районе пос. Песчаное (цифровая модель рельефа построена по данным съемки с БПЛА)



Рис. 4.6 – Следы изъятия песка со дна озера Ойбурское (ортофотоплан построен по данным съемки с БПЛА)

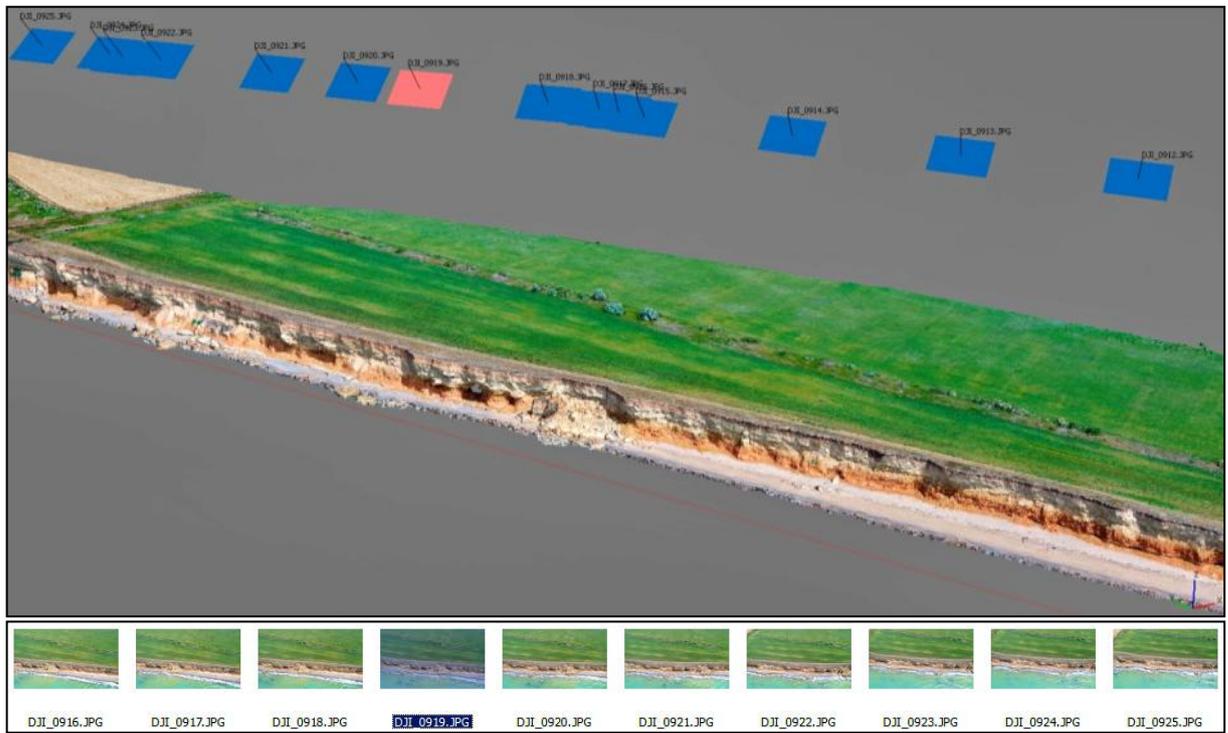


Рис. 4.7 – Обработка съемки участка абразионного берега в районе пос. Фрунзе (цифровая модель рельефа построена по данным съемки с БПЛА)

4.2.2 Изучение фауны моллюсков рыхлых грунтов

В июне 2017 г. нами были проведены рекогносцировочные исследования бентоса Бакальской косы. Пробы отбирали на разрезе со станциями 2 и 4 м рамкой 0,33x0,33 м. В пробах обнаружен один вид двустворчатых моллюсков – *Chamelea gallina*, ее численность на глубинах 2 и 4 м составила 470 и 490 экз/м² соответственно, биомасса – 372 и 404 г/м². Размерная и возрастная структура выборки представлены на рисунке 4.8. Для сравнения интересно отметить, что средние размеры и, соответственно, биомасса венерки на Бакальской косе больше, чем на Анапской пересыпи, а в возрастной структуре преобладают молодые особи 2 лет, и лишь единицы достигают возраста 4-5 лет. На Анапской пересыпи максимальный возраст венерок 8 лет, но большинство особей в популяции имеет возраст до 1 года. Для оценки количества карбонатов, ежегодно поступающих в осадки в результате жизнедеятельности венерок, необходимы более детальные исследования проб бентоса из прибрежья Бакальской косы, которые планируются в 2018 г.

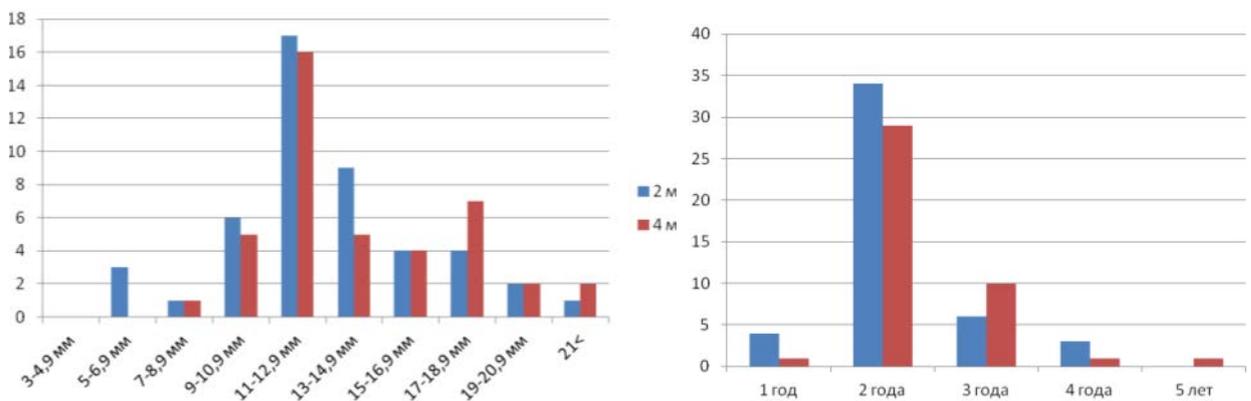


Рис. 4.8 – Размерная (слева) и возрастная (справа) структура популяции венерок Бакальской косы

4.2.3 Изучение механического и минерального состава наносов

В ходе экспедиции проведен отбор проб песчаного материала с пляжей и дюн (при наличии) обследованных аккумулятивных тел. На Бакальской косе также был произведен отбор проб донных отложений для определения их минерального и механического состава. По возможности, отбор проб производился вдоль всей протяженности (рис. 4.9) аккумулятивного тела. Указанные работы имеют целью составление схем движения вдольберегового потока песчаных и галечных наносов, и выявление источников поступления наносов в литодинамические системы.

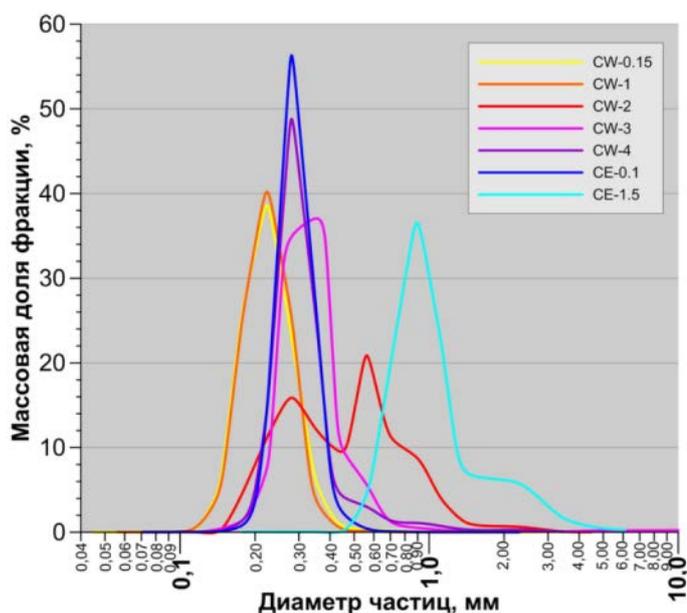
Для сухопутной части пробы отбирались на пляже и на гребне авандюн (при наличии). Отбор пробы производился с поверхности мерной емкостью. Место отбора пробы фотографировалось для облегчения дальнейшего анализа. Координаты точек отбора пробы фиксировались при помощи GPS. Отбор проб донных отложений производился водолазом. Одновременно производился отбор живых двусторчатых моллюсков и (или) раковинного детрита для биологических исследований.

Обработка проб проводилась аналогично таковой для Анапской пересыпи. Предварительный анализ результатов показал, что имеются значительные различия механического и минерального состава отложений Крымского п-ова и Анапской пересыпи.



Рис. 4.9 – Точки отбора проб в районе оз Чокрак

Рис. 4.10 – Механический состав пляжевых отложений аккумулятивных берегов района оз. Чокрак (Восточный Крым, Азовское море). Номера проб соответствуют точкам отбора пробы на рис. 4.9



Часть 5

СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИБРЕЖНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В 2017 году 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. Первый из них, будет включать 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. Структура специализированной базы данных представлена на рисунке 5.1.

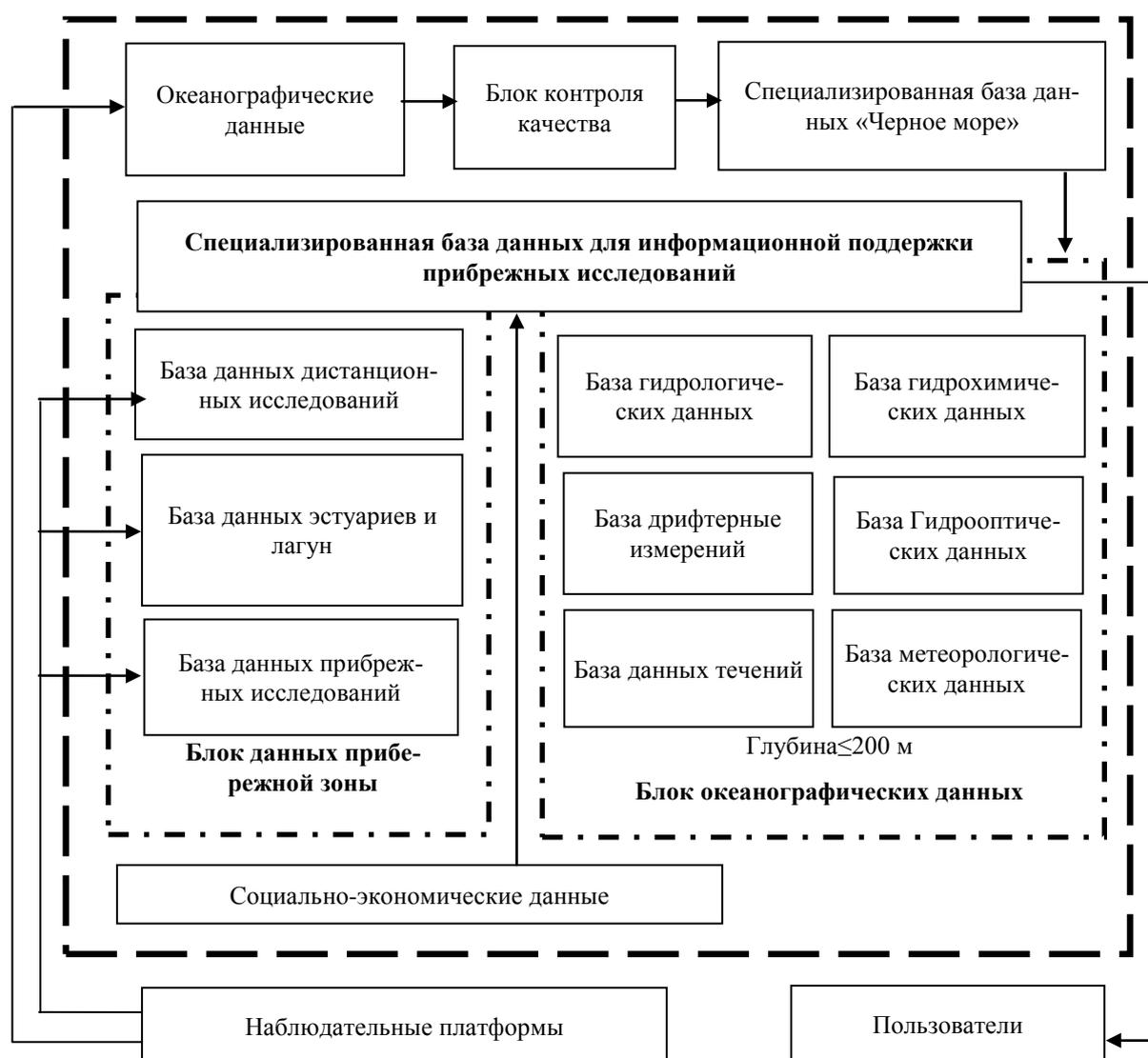


Рис. 5.1 - Структура специализированной базы данных для информационной поддержки исследований прибрежной зоны

В качестве основы Блока океанографических данных использована информация из специализированной базы данных «Черное море» Морского гидрофизического института РАН (Халиулин и др., 2014; Еремеев и др., 2014). В настоящее время база данных «Черное море» включает океанографические и метеорологические данные, полученные специалистами России, Украины, Болгарии, Турции, США, Франции, Румынии, Дании и других стран. 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 будут входить 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 ракушки;
- 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 войдут данные, относящиеся к указанным объектам.

База данных дистанционных исследований будет включать материалы аэрофотосъемки, спутниковые снимки, а также фотографии и видео, полученные с помощью интеллектуальной камеры, установленной на беспилотном летательном аппарате. В эту базу будут также включены архивные материалы, специально обработанные и подготовленные в ходе выполнения настоящего и других проектов (аэрофотосъемки Люфтваффе времен второй Мировой войны, советские аэрофотоснимки, спутниковые снимки 1960-х – 2010-х годов).

Структура специализированной базы данных для информационной поддержки прибрежных исследований предусматривает также формирование (в качестве дополнительной) Базы социально-экономических данных.

Создаваемая специализированная база данных для информационного обеспечения прибрежных исследований имеет открытую структуру, что дает возможность как для пополнения существующих баз данных, так и, при необходимости, включения новых баз данных по различным параметрам. Она может использоваться как для решения задач рассматриваемого проекта, так и для информационного обеспечения других проектов, направленных на изучение текущего состояния и изменений прибрежных геосистем российского побережья Черного и Азовского морей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все поставленные в плане работ первого года выполнения проекта выполнены. По итогам работ 2017 г.:

- проведена систематизация и анализ фондовых материалов по гидрометеорологическому, гидродинамическому и литодинамическому режиму всех аккумулятивных берегов Крымского полуострова;
- на основе анализа информации по современному состоянию крупнейших аккумулятивных береговых геосистем неприливных морей в пределах Крымского полуострова выбран для детального изучения репрезентативный участок;
- проведен первый цикл экспедиционных работ, включающий рекогносцировочное обследование большей части аккумулятивных берегов Крыма и обследование выбранной для дальнейшего детального изучения аккумулятивной формы – Бакальской косы;
- проведена систематизация и анализ фондовых материалов по гидрометеорологическому, гидродинамическому и литодинамическому режиму, данных дистанционного зондирования на район Бакальской косы;
- составлена качественная характеристика современного состояния выбранной тестовой аккумулятивной береговой геосистемы – Бакальской косы, с анализом важнейших природных процессов, определяющих произошедшие за последние десятилетия изменения морфологического облика и литодинамических характеристик;
- проведена адаптация используемых математических моделей для условий крымского побережья, проведены предварительные расчеты основных гидродинамических параметров (ветроволновых характеристик);
- проведен 4 этап мониторинговых экспедиционных работ на Анапской пересыпи для выявления межгодовой и многолетней динамики различных параметров;
- произведена камеральная обработка материалов экспедиционных исследований;
- проведена оценка роли антропогенного фактора в строении и изменчивости Бакальской косы;
- произведена адаптация океанологической базы данных для решения различных задач прибрежных и береговых исследований и внесение в нее полученных данных;
- произведено уточнение состава и методик получения недостающих данных;
- подготовлен промежуточный отчет.

Исследования первого года показали необходимость получения:

- данных по гидрологическому (в первую очередь – ветроволновому) и климатическому режиму (в том числе тренды различных показателей) прибрежной акватории, прилегающей к Бакальской косе;
- данных по литодинамическому режиму Бакальской косы (виды и источники поступления наносов, бюджет наносов, состав наносов, динамика наносов);
- данных по современному рельефу Бакальской косы (включая подводный склон), а также его морфометрическим показателям и динамике;

Анализ имевшихся архивных и полученных в ходе первого этапа данных и сведений показал, что требуемые для прогноза характеристики и параметры могут быть получены только сочетанием натурных, дистанционных и аналитических (математического моделирования) исследований, которые будут проведены на втором этапе выполнения проекта, в 2018 году.

В течение 2017 года в ведущих профильных отечественных и зарубежных научных изданиях опубликованы или сданы в печать 27 информационно-аналитических статей. Представлены 26 докладов на 12-ти авторитетных конференциях и форумах. Особое место уделено апробации наиболее эффективных методов исследования, разработанных в ходе выполнения работ по проекту.

ЛИТЕРАТУРА

- Агаркова И.В. Влияние хозяйственной деятельности на динамику Сакского побережья // Ученые записки ТНУ им. В.И. Вернадского. – 1999. – Т. 12 (51), № 1. – С. 35-38.
- Агаркова-Лях И.В. Антропогенные и природные факторы сокращения Сакских пляжей // Записки Общества геоэкологов. – 2007. – № 9. – С. 24-30.
- Агаркова-Лях И.В. Современное состояние пляжей Западного побережья Крыма и актуальные вопросы берегового природопользования // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. – Вып. 29. – С. 50-60.
- Айбулатов Н. А. Определение мощности потоков взвешенных песчаных наносов у морских берегов // Докл. АН СССР. – 1957. – Т. 116, № 2. – С. 281-283.
- Алексеев Д.В., Иванов В.А., Иванча Е.В., Фомин В.В., Черкесов Л.В. Эрозия и седиментация донных осадков в Каркинитском заливе во время шторма 10 – 11 ноября 2007 г. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. – Вып. 19. – С. 93-105.
- Антонов Л. Течения Евпаторийского залива // Записки по гидрографии. – 1929. – Т. 5. – С. 85-88.
- Арнольди Л.В. Материалы по количественному изучению зообентоса Черного моря. II. Каркинитский залив // Тр. Севастоп. биол. станции. 1949. Т. 7. С.127–192.
- Болтачева Н.А., Ревков Н.К., Бондаренко Л.В., Колесникова Е.А., Тимофеев В.А., Копий В.Г. Таксономический состав макрозообентоса Каркинитского залива (Черное море) в начале XXI века. Морские биологические исследования: достижения и перспективы: в 3-х т. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции (Севастополь, 19–24 сентября 2016 г.) / под общ. ред. А.В. Гаевской. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика. 2016. – Т. 2, с. 36-39.
- Братусь О.С. Вещественный состав пляжей Крымского полуострова // Доклады АН СССР. Сер. Геогр. – 1965а. – Т. 165, № 2. – С. 399-402.
- Братусь О.С. О гранулометрическом составе песчаных отложений Крыма // Доклады АН СССР. – 1965б. – Т. 163, № 2. – С. 431-434.
- Визе В.Ю. Течения в Евпаторийской бухте // Известия Центр. Гидрометеорол. Бюро. – 1927. – № 7. – С. 1-23.
- Выхованец Г.В. Эоловый процесс на морском берегу. – Одесса: Астропринт, 2003. – 367 с.
- Глушков В.Г. Исследование наносов Евпаторийского порта летом 1925 г. // Известия Центр. Гидрометеорол. Бюро. – 1926. – № 6.
- Глушков В.Г. Фокусы действия прибоя // За рационализацию гидрологии: Сб. научн. трудов. – Ленинград: Изд-во ГГИ, 1934.
- Горячкин Ю.Н. Изменчивость уровня моря и динамика аккумулятивных берегов Западного Крыма // XXIV Международная береговая конференция «Морские берега – эволюция, экология, экономика», посвященная 60-летию со дня основания Рабочей группы «Морские берега» (Туапсе, 1 – 6 октября 2012 г.): мат. конф. в 2 т. – Краснодар: Издательский Дом Юг, 2012. – Т. 1. – 404 с. – С. 98-102.
- Горячкин Ю.Н. Отклик аккумулятивных берегов Каламитского залива на изменения уровня моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. – Вып. 25, т. 1. С. 73-82.
- Горячкин Ю.Н. Придонные течения в Каламитском заливе // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. – Вып. 17. – С. 258-264.
- Горячкин Ю.Н., Удовик В.Ф. Оценки межгодовой изменчивости вдольберегового транспорта наносов на участке береговой зоны от Севастополя до Евпатории // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2015. – № 1. – С. 55-66.
- Горячкин Ю.Н. Антропогенное воздействие на черноморские берега Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. – Вып. 23. – С. 193-197.
- Горячкин Ю.Н. Мониторинг изменчивости береговой зоны в районе Бакальской косы // Системы контроля окружающей среды. – 2008. – С. 242-244.

- Горячкин Ю.Н., Долотов В.В. Изменения береговой линии аккумулятивных берегов Западного Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2011. – Вып. 25, т. 1. – С. 8-18.
- Горячкин Ю.Н., Иванов В.А. Новый остров в Черном море? // Доповіді Національної академії наук України. – 2013. – № 8. – С. 100-104.
- Горячкин Ю.Н., Иванов В.А. Современное состояние черноморских берегов Крыма // Доповіді Національної академії наук України. – 2010. – № 10. – С. 78-82.
- Горячкин Ю.Н., Удовик В.Ф., Харитонов Л.В. Оценки параметров потока наносов у западного берега Бакальской косы при прохождении сильных штормов в 2007 г. // Морской гидрофизический журнал. – 2010. – № 5. – С. 40-49.
- Горячкин Ю.Н., Фомин В.В. Характеристики волновых течений в Каламитском заливе // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. – Вып. 23. – С. 159-165.
- Горячкин Ю.Н., Фомин В.В., Харитонов Л.В. Динамика наносов в Евпаторийской бухте, Черное море // Вестник Одесского Национального университета. Географические и геологические науки. – 2013. – Т. 18, вып. 2(18). – С. 46-53.
- Горячкин Ю.Н., Харитонов Л.В. Изменения береговой линии Крыма по спутниковым данным // Причорноморський екологічний бюллетень «Стан та проблеми берегової зони морів України». – 2010. – Вип. № 1 (35). – С. 122-129.
- Горячкин Ю.Н., Харитонов Л.В., Лазоренко Д.И., Фомин В.В. Возможный вариант решения проблемы восстановления пляжей Евпатории // Научно-практическая конференция «Пути решения проблемы сохранения и восстановления пляжей Крымского полуострова» (Севастополь, 16 – 18 сентября 2015 г.): тез. докл. – С. 35-36.
- Дзенс-Литовский А.И. Пересыпи и косы Крымских соляных озер // Известия Рос. геогр. общ-ва. – 1933. – Т. 65, вып. 6.
- Долотов Ю.С., Шадрин И.Ф., Юркевич М.Г. О динамике рельефа подводного берегового склона, сложенного ракушечным материалом // Новые исследования береговых процессов / Отв. ред. В.П. Зенкович. – Москва: Наука, 1971. – С. 110-119.
- Еремеев В.Н., Халиулин А.Х., Ингерев А.В., Жук Е.В., Годин Е.А., Пластун Т.В. Современное состояние банка океанографических данных МГИ НАН Украины: программно-математическое обеспечение // Морской гидрофизический журнал. – 2014, №2. – С.54 –66
- Зенкович В.П. Бакальская коса // Сб. труд. Института океанологии АН СССР. – 1955. – № 4. – С. 86-101.
- Зенкович В.П. Берега Чёрного и Азовского морей. – Москва: Гос. Изд-во геогр. лит., 1958а. – 371 с.
- Зенкович В.П. Изучение динамики берегов западного Крыма // Вопросы географии. – 1947. – № 3.
- Зенкович В.П. Кадастр берегов морей СССР // Труды Ин-та океанологии АН СССР. – 1954. – Т. 10. – С. 35-43.
- Зенкович В.П. Морфология и динамика советских берегов Чёрного моря. Том II. – Москва: Изд. АН СССР, 1960. – 215 с.
- Зенкович В.П. О профилях подводного склона берегов западного Крыма // Труды Ин-та океанологии. – 1958б. – Т. XXVIII. – С. 93-99.
- Зенкович В.П. Строение берега западного Крыма у Евпатории // Вопросы географии. – 1948. – № 7.
- Иванов В.А., Горячкин Ю.Н., Удовик В.Ф., Харитонов Л.В., Шутов С.А. Современное состояние и эволюция Бакальской косы // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012.– Вып. 26, т. 1. – С.8-15.
- Игнатов Е.И., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д. Морские берега Крыма // Геоморфология. – 2016. – № 1. – С. 55-63.
- Игнатов Е.И., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д. Типизация берегов Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – № 1.– Севастополь, 2015. – С. 20-28.
- Карбасников М.Н. Результаты обследования донных пород Евпаторийской бухты // Известия Центр. Гидрометеорол. Бюро. – 1927. – № 7. – С. 184-202.
- Клюкин А.А. Экстремальные проявления экзогенных процессов в XX веке в Крыму // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2005. – Т. 1, вып. 1. – Симферополь: ТНУ, 2005. – С. 27-38.

- Крыленко С.В. Геологическое строение и экзогенные процессы на клифе как фактор экологии *Seseli ponticum* // В сборнике: Комплексные исследования Мирового океана материалы II Всероссийской научной конференции молодых ученых. 2017. С. 352-354. <https://elibrary.ru/item.asp?id=30063070>
- Крыленко С.В. Изучение возможностей увеличения кормовой базы лагун Азово-Черноморского побережья // Материалы IV научно-практической молодежной конференции «Экобиологические проблемы Азово-Черноморского региона и комплексное управление биологическими ресурсами» (2-5 октября 2017 г.). Севастополь: Колорит, 2017. С. 134-137. http://иптс.рф/wp-content/uploads/2017/10/Materialy_konf_2017.pdf#page=134
- Крыленко С.В. Сукцессионные особенности тамарикса на природных и техногенных ландшафтах Анапской пересыпи // Международной научно-технической конференции «Системы контроля окружающей среды – 2017», Севастополь, 2017.
- Лонгинов В.В. Бухта Ярылгач // Сборник работ Ин-та океанологии АН СССР. – 1955. – № 4.
- Лонгинов В.В. Динамика береговой зоны бесприливных морей. – Москва: Изд-во АН СССР, 1963. – 379 с.
- Мамыкина В.А., Хрусталева Ю.П. Береговая зона Азовского моря. – Ростов/Дон: Изд-во РГУ, 1980. – 174 с.
- Невесский Е.Н. Исследование толщ прибрежных отложений с помощью вибропоршневой трубки // Докл. АН СССР. – 1957. – Т. 112, № 3.
- Поповичев В.Н., Ерёмин О.Ю., Стецюк А.П., Плотицына О.В., Родионова Н.Ю., Царина Т.В., Бобко Н.И., Богданова Т.А. Продукционные, гидрохимические и токсикологические (по ртути) параметры проб морской прибрежной воды и соляных озёр северо-западной части Крыма в системе экологического мониторинга 2010 – 2014 гг. «Pontus Euxinus 2015»: тезисы IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых (с международным участием) по проблемам водных экосистем, посвященной 100-летию со дня рождения д.б.н., проф., чл.-кор. АН УССР В. Н. Грезе (17-20 ноября 2015 г.). 2015. – Севастополь: DigitPrint, с. 128-129.
- Романюк О.С. Пляжи Крыма, их генезис и перспективы практического использования. Рукопись: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – Ростов/Дон: Изд-во РГУ, 1968. – 23 с.
- Руммель В.Ю. Джарылгатский залив, Евпатория, Севастополь // Материалы для описания русских коммерческих портов. – СПб, 1889. – Т. XVII, № 5. – С. 3-112.
- Садогурский С.Е. Макрофитобентос территориально-аквального комплекса Бакальской косы и прилегающей акватории Черного моря (Крымский полуостров) / С.Е. Садогурский // Заповідна справа в Україні. 2010. – Т. 16. – Вип.1. – С. 29–43.
- Современное состояние береговой зоны Крыма / Под ред. Ю.Н. Горячкина. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2015. – 252 с.
- Станичная Р.Р., Станичный С.В., Горячкин Ю.Н. Методика анализа изменчивости береговой линии по спутниковым данным // Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых зон моря. – Севастополь, 2016. – № 1. – С. 24-30.
- Терентьев А.С. Макрозообентос малого филофорного поля. 2001. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.eco911.ru/public/envprot/makrozoobentos>.
- Федорова Е.А. Динамика подводных вдольбереговых валов Анапской пересыпи. // Комплексные исследования Мирового океана. Материалы II Всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Москва, 10-14 апреля 2017 г. – С. 530-532. [Электронный ресурс]. – Москва: ИО РАН. – Режим доступа: свободный http://www.ocean.ru/component/option,com_docman/task,doc_details/gid,840/Itemid,78/ ISBN 978-5-9901449-2-7
- Халиулин А.Х., Годин Е.А., Токарев Ю.Н., Мезенцева И.В., Смирнов С.С. Информационные ресурсы мореведческих организаций Крыма / Тезисы докладов международной научной конференции «Современное состояние и перспективы наращивания морского ресурсного потенциала юга России» (Севастополь, Качивели, 15-18 сентября 2014 г.). – Севастополь: ЭКОСИ – Гидрофизика, 2014. – С. 170–173.
- Шуйский Ю.Д., Выхованец Г.Д. Карта средней скорости абразии и аккумуляции. 1960 – 1994 гг. // Атлас охраны природы Черного и Азовского морей / Гл. ред. Л.И. Митин. – СПб: ГУНИО МО Российской Федерации, 2006. – С. 44.
- Шуйский Ю.Д. Механический состав пляжевых наносов на западных берегах Крымского полуострова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. – Вып. 15. – С. 370-385.

- Шуйский Ю.Д. Основные закономерности морфологии и динамики западного берега Крымского полуострова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – Вып. 13. – С. 62-72.
- Шуйский Ю.Д. Основные закономерности распределения наносов на подводном склоне Донузлавской пересыпи, Западный Крым // Екологічні проблеми Чорного моря. – 2002. – Вип. 4. – С. 287-295.
- Шуйский Ю.Д. Процессы и скорости абразии на украинских берегах Черного и Азовского морей // Известия АН СССР, сер. географ. – 1974. – № 6. – С. 107-117.
- Шуйский Ю.Д., Карасев Л.М. Эоловые процессы на береговых аккумулятивных формах Западного Крыма // Известия ВГО. – 1983. – № 2. – С. 50-60.
- Шуйський Ю.Д. Довжина берегів Чорного та Азовського морів у межах України // Укр. Географ. журнал. – 2001. – № 1. – С. 33-36.
- Christie D., Vögler A., Morrison J., Greenwood C., Venugopal V., Topper M. 2014. The Hebridean Wave Model // Proc. of the 2nd International Conference on Environmental Interactions of Marine Renewable Energy Technologies (EIMR2014), 28 April – 02 May, Stornoway, Isle of Lewis, Outer Hebrides, Scotland.
- DHI Water & Environment. 2007. MIKE 21, Spectral Wave Module.
- Divinsky B., Kosyan R. 2017. Spatiotemporal variability of the Black Sea wave climate in the last 37 years. *Continental Shelf Research*, 136, 1–19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2017.01.008>.
- E. Fedorova Dynamics of the Anapa Bay-bar submerge slope. // Proceedings of International Conference "Managing risks to coastal regions and communities in a changing world" (EMECS'11 – SeaCoasts XXVI), August 22-27, 2016, St Petersburg, Russia. DOI: 10.21610/conferencearticle_58b43156646fe. ISBN 978-5-369-01628-2 (print). ISBN 978-5-369-01628-2 (online)
- Kos'yan R.D., Divinsky B.V., Pushkarev O.V. 1998. Measurements of parameters of wave processes in the open sea near Gelendzhik. The Eight Workshop of NATO TU-WAVES/Black Sea, METU, Ankara, Turkey, p. 5-6.
- Siadatmousavi S., Jose F, Stone G. 2011. Evaluation of two WAM white capping parameterizations using parallel unstructured SWAN with application to the Northern 42 Gulf of Mexico, USA. *Applied Ocean Research*, V. 33, Issue 1, Feb. 2011, pp. 23–30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apor.2010.12.002>.
- U.S. Army Corps of Engineers. 2002. Coastal Engineering Manual. Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. (in 6 volumes).