

Исследование значимости и взаимосвязей природных факторов формирования гранулометрического состава отложений и рельефа аккумулятивных береговых форм Черного моря

Южное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Геленджик
e-mail: krylenko.slava@gmail.com

Аннотация. Гранулометрический состав донных и пляжевых отложений береговых аккумулятивных форм является достаточно «консервативным» параметром. Анализ закономерностей формирования пространственных особенностей гранулометрического состава в различных морфологических частях изучаемой аккумулятивной формы может дать информацию о характере и взаимосвязях процессов, определяющих её трансформацию.

Ключевые слова: Анапская пересыпь, Черное море, береговая зона, гранулометрический состав.

Введение

Анапская пересыпь – это аккумулятивное песчаное тело протяженностью около 47 км, расположенное в северо-западной части российского побережья Черного моря (рисунок 1). Пересыпь простирается узкой полосой (ширина от 80 м в северной части до 1.5 км в южной) от оз. Соленое до м. Анапский, отделяя от Черного моря систему лиманов и озер. Характерной особенностью Анапской пересыпи является наличие на ней развитых золотых аккумулятивных форм (дюн). В продольном строении всей Анапской пересыпи прослеживаются две основных зоны: пляж и зона дюн. Далее от моря, в зависимости от участка, в тыльной части дюнного пояса располагается зона бугристых песков, за которой следует либо отмерший клиф, либо берег лимана [1, 2]. Вся пересыпь, особенно её южная часть (от Витязевского лимана до города-курорта Анапа) с песчаными пляжами шириной 50-200 м, активно используется в рекреационных целях.



Рис. 1. Расположение Анапской пересыпи

Анапская пересыпь – очень динамичный природный объект, состояние которого зависит от большого количества природных и антропогенных факторов. Изменение каждого из этих факторов сказывается на динамике ландшафтно-геоморфологического облика пересыпи [3]. В последние десятилетия наблюдается отступление береговой линии пересыпи со скоростью до 1.2 м в год [4]. Поскольку на определенном этапе такое отступление несет риск существенной перестройки природных и хозяйственных комплексов, изучение современного состояния и тенденций изменения геосистемы пересыпи является важной и актуальной задачей.

Материалы и методы

С 2010 г. сотрудниками Южного отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН на Анапской пересыпи проводятся комплексные экспедиционные исследования. Одной из целей работ является изучение современного рельефа и морфологии пересыпи (включая зону прибоя, пляж, дюнный пояс), оценка их динамики и устойчивости к изменениям внешних условий. Еще одним аспектом исследований было изучение гранулометрического и минерального состава отложений для выявления закономерностей поступления, миграции и аккумуляции слагающего пересыпь материала. Поскольку значительную долю в общем объеме наносов имеет биогенный материал (ракуша и ракушечный детрит), было проведено исследование количественных и популяционных характеристик малакофауны прилегающей акватории Черного моря.

Поскольку изучаемый участок в целом однотипен и не имеет выраженных ориентиров, вдоль всего участка литодинамической системы Анапской пересыпи (от мыса Анапский на юге до мыса Железный Рог на севере) выбраны условные точки на урезе моря, расположенные в 1 км друг от друга. Так как создание закрепленных реперов в условиях Анапской пересыпи нереально, позиционирование на местности опорных профилей осуществлялось с помощью GPS. Через эти точки были проведены поперечные профили, по которым проводились как маршрутные наблюдения, так и иные исследования (гранулометрического состава, золотых процессов, геоботанические и т.п.). Фиксировались характеристики форм рельефа, состава и состояния пляжевых отложений, растительного покрова. Уделялось внимание фактам и последствиям антропогенного воздействия на морфосистему пересыпи.

Маршрутные исследования.

В ходе маршрутного обследования в точках наблюдения фиксировались пространственное размещение, ориентировка, линейные размеры, сочленение и относительные превышения отдельных форм рельефа, параметры и состояние пляжа и пляжевых отложений, растительного покрова, выявлялись признаки и степень антропогенного воздействия. Проведение маршрутных работ сопровождалось фотографической съемкой, что позволяет анализировать особенности рельефа в сочетании с анализом особенностей растительного покрова, наличием на поверхности пляжа естественного и антропогенного мусора, составом и плотностью ракуши, состоянием прилегающих участков пересыпи. Важным элементом экспедиционных работ стало обследование северо-западного участка литодинамической системы Анапской пересыпи, представленного абразионным обвальнопользовым берегом. Согласно многим данным, этот участок является зоной питания аккумулятивного тела Анапской пересыпи песчаными и галечными наносами. Обследование носило цель определить содержание в обнажениях коренных пород на клифе песчаного и галечного материала, и выявить признаки вдольберегового движения пляжевых наносов.

Геодезические исследования.

Для геодезической съемки на полигоне использовалось оборудование спутниковой системы позиционирования фирмы Leica Geosystems, в состав которого входили два двухчастотных приемных устройства (Leica GS 10, Leica GS 15), обрабатывающие сигналы навигационных спутников GPS, ГЛОНАСС. Конфигурация системы соответствовала режиму RTK-кинематики, т.е. позволяла проведение непрерывной кинематической съемки, обеспечивая при этом точность в плане 10 мм, по высоте – 20 мм. В качестве опорного пункта (RTK-базы) было задействовано приемное устройство GS 10 с антенной AS 10, установленное стационарно в лагере экспедиции. Расстояние базы от максимально удаленной точки на плане съемки составляло около 20 км [5]. Дополнительная связь между базой и ровером для передачи координатных поправок последнему осуществлялась с помощью мобильного телефона. В связи с тем, что сроки проведения полевых работ были ограничены (как это бывает всегда), а необходимо было провести измерения на всей площади Анапской пересыпи, требовалось максимально ускорить процесс съемки. Для приемного устройства GS 15 была подготовлена специальная конструкция, позволяющая разместить прибор за плечами оператора, облегчая ему пешее перемещение на участке съемки. Для определения величины погрешности, связанной с неравномерностью движения оператора, было проведено измерение на участке с ровной поверхностью. На протяжении 500 м погрешность измерения высотных отметок не превышала 10 см. Поскольку на данном этапе исследований не стояло задачи создание точной топографической основы, погрешность измерений была допустимой. Для конкретного случая, с учетом особенностей морфологического строения объекта исследования – Анапской пересыпи (сочетающего практически плоские участки пляжей и дюны со сложным рельефом), автоматический

отсчет координат производился при смещении прибора на 2 м в плане или при относительном изменении его высотного положения на 20 см.

Основной целью работ являлось выявление изменчивости поперечного морфологического профиля пересыпи на всем её протяжении, поэтому съемка проводилась на участках, наиболее характерных для данного отрезка пересыпи. В силу природных и техногенных причин различные участки пересыпи существенно отличаются как размерами отдельных морфологических элементов, так и их составом. В связи с этим технология проведения съемки и частота проведения профилей на отдельных участках отличалась. Поперечные профили проводились от уреза, под прямым углом к линии берега на данном участке (с учетом рельефа, растительности, застройки). На узких участках пересыпи (Бугазская пересыпь) профиль завершался на урезе лимана. В остальных случаях профиль завершался в момент достижения относительно выровненной поверхности за дюнным поясом. При наличии клифа, густой растительности или застройки профиль завершался при невозможности дальнейшего движения по профилю. Длина отдельных профилей варьировала от 15 до 400 м. В случае, если на коротком участке пересыпи наблюдался существенно различный рельеф (например, при наличии рядом естественного и антропогенно нарушенного участков дюн), поперечные профили проводились через каждый из этих вариантов рельефа. Это позволит при анализе антропогенного влияния оценить величину изменения рельефа, используемую для определения устойчивости дюны к воздействию внешних факторов (волн, эоловых процессов).

Батиметрическая съемка.

Целью батиметрической съемки было составление батиметрического плана прибрежной акватории и цифровой модели подводного рельефа, используемой при проведении математического моделирования гидро-литодинамических процессов. Батиметрическая съемка прибрежной акватории проведена вдоль всей пересыпи до глубины 10 м. Съемка производилась галсами, проводимыми через 500 м с привязкой к опорным профилям, для детализации подводного рельефа были дополнительно произведены вдольбереговые промеры.

Изучение гранулометрического и минерального состава наносов.

Целью исследований является установление питающей провинции терригенного материала, слагающего пересыпь, а также определение мощности и направления движения вдольберегового потока наносов. Для этого были поставлены задачи сбора песчаного и галечного материала Анапской пересыпи. На суше пробы отбирались на урезе, пляже, у подножия дюны и на её вершине. Если на профиле имелись явные техногенные нарушения естественного рельефа, пробы отбирались на ближайшем естественном участке. Отдельно брались пробы из песчаных линз в клифе коренного берега, и песок с пляжа с явным наличием минералов – индикаторов. Точки отбора проб фиксировались при помощи GPS. Отбор проб донных отложений производился с учетом морфологии дна и глубины: в ложбине после 1-го вала, на гребне подводного вала, и на фиксированных глубинах 5 и 10 м. Пробы донных и пляжевых наносов высушивались, взвешивались и подвергались гранулометрическому анализу методом ситового анализа. Выделялись следующие фракции (мм): >5; 5-2.5; 2.5-1.6; 1.6-1.0; 1.0-0.63; 0.63-0.4; 0.4-0.315; 0.315-0.2; 0.2-0.16; 0.16-0.1; 0.1-0.063; 0.063-0.05; <0.05 [6].

Для оценки количества галечного материала на пляже производился подсчет на пробной площадке (1 м^2), отдельно оценивалось относительное расположение галечных россыпей относительно морфологических элементов пляжа. Образцы гальки отбирались для последующего минералогического анализа.

Биологические исследования.

Основной целью биологических исследований было получение качественных и количественных характеристик биогенной составляющей бюджета наносов, и оценка состояния популяций наиболее значимых для пополнения литодинамической системы Анапской пересыпи двустворчатых и брюхоногих моллюсков [7]. Для оценки возможных путей и механизмов поступления на пляжи ракушки со дна моря, был произведен сбор и анализ ракушки на глубине 10 м, а также произведены замеры содержания биогенного материала в различных морфологических зонах пересыпи.

Анализ данных дистанционного зондирования, спектрографические исследования.

В нашем распоряжении имелись высокодетальные многозональные космические снимки на разные участки Анапской пересыпи. Для некоторых снимков имелись серии разновременных снимков, позволяющие выявить сезонную или межгодовую динамику различных элементов геосистемы пересыпи, а также выявить участки, подвергнувшиеся антропогенному воздействию. Было произведено полевое определение спектральных образов различных элементов геосистемы пересыпи. Помимо пляжевых и дюнных песчаных отложений, были исследованы спектры, характерные для отложений коренных берегов, и спектры разных растений (сообществ растений), произрастающих на Анапской пересыпи. Для получения спектрального образа объектов применялся портативный полевой спектрометр SkyeInstruments SpectroSense 2+. Было произведено сравнение полученных в полевых условиях данных по спектральным характеристикам различных элементов Анапской пересыпи, с данными, полученными при обработке космических многозональных снимков WorldView-2 [8]. Для проведения анализа использовались возможности программы ERDAS Imagine, в том числе классификация на основе спектральных признаков, построение спектральных и пространственных профилей. Сравнение данных,

полученных при полевом спектрометрировании и космических снимков, показало принципиальную сходимость результатов. На основе полученной информации составлена карта ландшафтно-морфологической структуры пересыпи, позволяющая сопоставлять распределение элементов ландшафта с распределением наносов.

Результаты и обсуждение

К настоящему времени проведено профилирование основных морфологических зон пляжа и дюнного пояса по всей протяженности Анапской пересыпи. На рисунке 2 показаны примеры поперечных профилей, характерных для северо-западной части Анапской пересыпи. Хорошо заметны различия в линейных размерах основных морфологических элементов пересыпи (пляжа, дюнного пояса, берега лимана), и в их строении. На некоторых профилях заметны следы волнового разрушения морского края авантюны. Полученные данные, в сочетании с проведенной батиметрической съемкой, позволяют анализировать закономерности формирования поперечного профиля подводного склона (с системой подводных валов), пляжа и дюн в зависимости от гидродинамических условий на данном участке пересыпи.

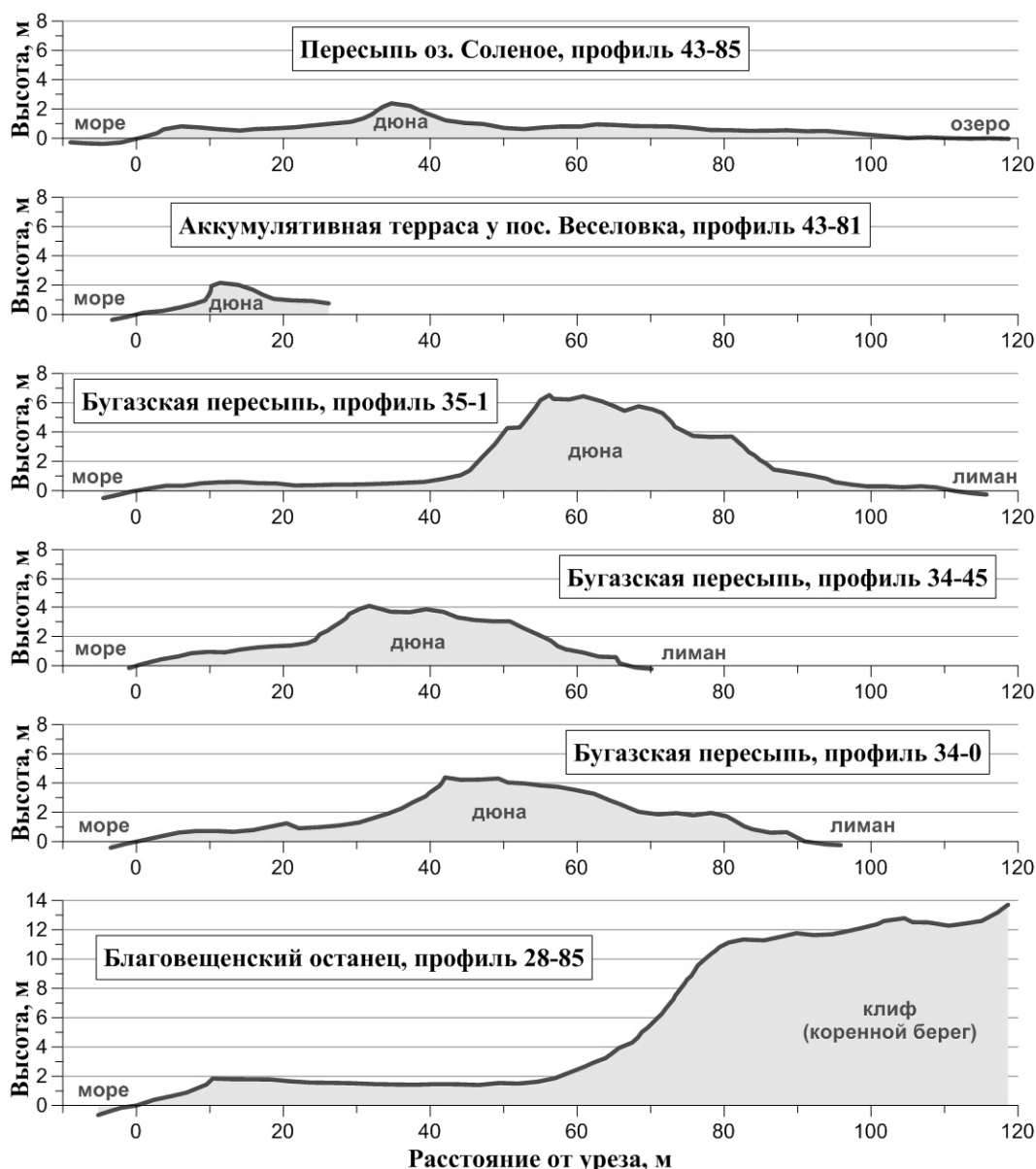


Рис. 2. Характерные поперечные профили рельефа северо-западной части Анапской пересыпи

Анализ собственных материалов прошлых лет, литературных и архивных источников, на основе обработки данных дистанционного зондирования за продолжительный период, показал, что наиболее изменчивым элементом морфосистемы пересыпи являются пляжи (включая урез и передний склон авантюны). Для северной и центральной части Анапской пересыпи (от пос. Веселовка до Витязевской

пересыпи) характерно наличие чередующихся участков размыва – намыва, вся система которых постепенно смещается на юго-восток под действием преобладающих штормов. Отмечены как протяженные участки с отступанием уреза, так и отрезки с выдвиганием берега. Во время стадии размыва ширина пляжа сокращается до 5 м, и волны даже при слабых штормах размывают основание авандюны. Строение пляжей вдоль Анапской пересыпи отражает существенные различия в гидро-литодинамических условиях. Тут имеются пляжи полного профиля (формирующиеся лишь при наиболее сильных штормах, отмечающихся не ежегодно), и прислоненные пляжи, где волновое воздействие отмечается при штормах практически в течение всего года.

В многолетней динамике можно отметить, что в условиях дефицита пляжеобразующего материала (на что указывают литературные данные и данные собственных наблюдений), происходит сокращение ширины пляжей, что ведет к усилению воздействия штормов средней силы на передний склон авандюны (ранее подобное наблюдалось лишь при экстремально сильных штормах). При разрушении авандюны песок поступает во вдольбереговой поток наносов, и либо вновь выносится на берег (уже на другом участке), либо накапливается в подводных валах. Отмечена сезонная изменчивость эоловых форм, связанная с усилением штормового воздействия в зимний период. Одновременно с этим, волновое воздействие на морской край авандюны является основным фактором, снижающим устойчивость эоловых форм (и даже ведущим к их полному разрушению).

На основе натурного обследования и камеральной обработки проб пляжевого и донного материала установлено, что в зоне подводных валов и в дюнном поясе преобладает терригенный материал (кварцевый песок), но при этом для подводных валов характерно преобладание фракции 0,125-0,2 мм, для дюн – 0,2-0,315. В целом, фракционный состав песка в подводном валу более постоянен вдоль всей пересыпи, чем состав дюнных отложений.

Поступление биогенного материала является основой для формирования **пляжей** и определяет их устойчивость. Для формирования грансостава донных отложений и эоловых отложений значение детрита существенно ниже. Содержание детрита максимально вдоль уреза, несколько ниже в пределах пляжа (рисунок 3).

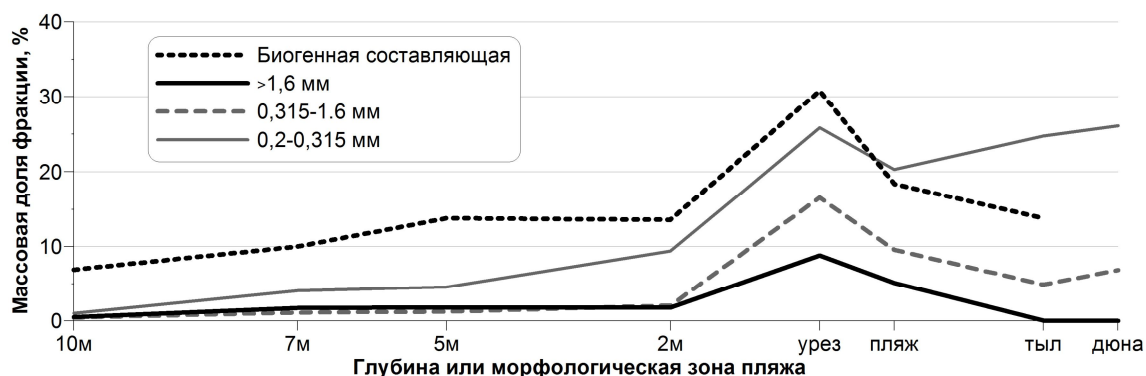


Рис. 3. Содержание наиболее крупных фракций песка и содержание биогенного материала в отложениях юго-восточной части Анапской пересыпи

На подводном склоне ракушка скапливается в ложбинах между подводными валами, на самих валах содержание ракушки минимально (не более 10%). На глубине 10 м содержание целых и фрагментированных раковин моллюсков вдоль Анапской пересыпи существенно колеблется. Всего рассмотренные пробы содержат 12 видов двустворчатых и 2 вида брюхоногих моллюсков. Наиболее массовым видом является венерка *Chamelea gallina*, затем с большим отрывом следует донакс *Donax trunculus*, единично встречаются все остальные двустворки. В пробах преобладают живые двустворчатые моллюски, но обнаружены два независимых участка со значительным скоплением на дне целой и битой ракушки (в том числе раковин ныне вымерших видов моллюсков). Этот факт может указывать на то, что на подводном склоне вдоль Анапской пересыпи существуют участки, существенно отличающиеся по условиям миграции и аккумуляции ракушки. Вероятно, это связано с рельефом подводного склона (как системы валов или ложбин, так и обширной подводной банки Марии Магдалины).

В пляжевых отложениях содержание фракций крупнее 0,315 мм составляет в среднем 13%, максимальное содержание отмечается в приурезовой части профиля (в среднем 25,4%). С удалением от моря содержание крупных фракций падает – в средней части пляжа в среднем 14,6%; у подножия авандюны в среднем 4,9%. В **дюнных** отложениях преобладает песок минерального происхождения (кварц), содержание которого на дюнах достигает 100%. Тем не менее, в формировании дюн принимает участие и материал биогенного происхождения. При проведении лабораторных определений гранулометрического состава с использованием сит, было визуально отмечено, что фракции крупнее 0,315 мм практически полностью представляют собой детрит.

Преобладают частицы размером от 0,3 до 1,6 мм, все они являются тонкими пластинками детрита, которые, в отличие от округлых минеральных песчинок могут планировать в ветровом потоке, поэтому обладают большей дальностью переноса. Этот детрит местами накапливается тонким (около 1-2 см), но сплошным слоем в локальных понижениях на и между дюнами. Характер накопления и отсутствие более крупных частиц позволил определить предельный для южной части Анапской пересыпи размер частиц, перемещаемых ветром: пластинки ракуши – до 1,6 мм, округлые минеральные песчинки – до 0,3 мм.

Ракушечный детрит значительно влияет на интенсивность золовых процессов. С одной стороны, крупный детрит и целая ракуша резко снижает вынос мелкого песка с пляжа (как на дюны, так и обратно в море), с другой стороны – по мере измельчения детрит достигает размера (как указано выше), позволяющего ветрам поднимать его на дюны, что способствует восстановлению и даже росту золовых образований. На некоторых участках золовых форм содержание мелкого детрита достигает 30%.

В настоящее время основное поступление на пляж песка, пригодного для формирования золовых форм, происходит с подводного склона в период зимних штормов. В течение лета происходит перераспределение этого материала в пределах пляжа, при этом часть песка возвращается обратно в море (при береговых ветрах), или перемещается на дюны (при морских ветрах). На это процесс определяющее влияние оказывают сила и направление ветров и режим осадков. Также важную роль в развитии золовых процессов играет растительность. Наличие растительности способствует удержанию более мелких частиц в пределах дюнного пояса. Анализ архивных материалов и данных дистанционного зондирования показали, что за последние полвека произошло увеличение площади дюн, закрепленных растительностью, что уменьшило золовые потери песка и способствовало стабилизации прибрежных золовых форм. В целом, увеличение покрытых растительностью площадей в пределах Анапской пересыпи способствовало сохранению дюн и даже их росту на отдельных участках, но сократило «возврат» песка с суши в море при береговых ветрах. Таким образом, развитие растительности отчасти способствовало уменьшению объемов песка в литодинамической системе пляжа.

Среди грубообломочного материала преобладают литокласты осадочных пород, прежде всего песчаника и аргиллита, в редких случаях известняка. В крайней северной части (м. Железный Рог) доминируют продукты абразии железорудных образований (железняки). По продвижению с юга на север размер гальки увеличивается в среднем с 3 см до 7 см. Морфология гальки в целом схожа, для неё характерна полуокатанная и окатанная форма с весьма гладкой поверхностью. Отмечено, что минеральный состав гальки, встречающейся вдоль всей Анапской пересыпи, несколько отличается от состава гальки, в настоящее время составляющей пляжи непосредственно у мыса Железный Рог. Таким образом, гипотеза о том, что единственным источником галечного материала для литодинамической системы Анапской пересыпи является коренной берег у мыса Железный Рог, нуждается в подтверждении.

Таким образом, в формировании гранулометрического состава отложений Анапской пересыпи принимают участие комплекс природных факторов, усиливающих или ослабляющих действие друг друга. Климатические факторы определяют интенсивность и направление вдольберегового перемещения наносов, являясь основой ветро-волнового режима прилегающей акватории моря. Кроме того, направление, повторяемость и интенсивность ветров и режим выпадения атмосферных осадков определяют ход золовых процессов. Гидродинамические процессы имеют решающее значение при перераспределении наносов на подводном склоне, в пределах пляжей. Эти же процессы оказывают влияние (путем изменения ширины и профиля пляжа или перераспределения наносов) на устойчивость авандюны. Отчасти гидродинамические процессы определяют процесс переноса биогенного материала с подводного склона на пляжи, оказывая прямое влияние на состав наносов или же меняя условия и интенсивность протекания золовых процессов в пределах пляжей. Биологические процессы влияют на состав и распределение наносов в виде поступления ракуши, и в виде влияния растительности на условия протекания золовых процессов и закрепление дюн. Ракуша и ракушечный детрит поступают с подводного склона на пляжи и распространяются вплоть до пояса дюн под доминирующим влиянием гидродинамических процессов. Ракуша и детрит, входящие в состав пляжевых отложений, являются основой формирующейся по мере выдувания мелких частиц ветроустойчивой поверхности, в определенный момент практически полностью прекращающей золовый вынос песка с пляжа. Таким образом, биогенный материал существенно влияет на интенсивность золовых процессов. Далее, по мере измельчения ракуши, её частицы могут вовлекаться в золовый поток, и перемещаться в сторону дюн, накапливаясь преимущественно в междюнных понижениях. Соответственно, детрит является составляющей частью дюнных отложений, влияя на формирование рельефа. Следует отметить, что значительные колебания объема и состава поступающей ракуши приводят к изменениям устойчивости пляжей. Растительность играет важнейшую роль в золовом рельефообразовании, способствуя повышению устойчивости дюн и снижая интенсивность ветропесчаных потоков. Золовые процессы оказывают влияние на перераспределение песка в пределах пляжа и дюнного пояса, то есть являются рельефообразующим

фактором. Интенсивность этих процессов зависит от климатических факторов (ветрового режима и режима осадков), рельефа (ширины пляжа и высоты дюн), наличия и состояния растительности. Кроме того, на золотой перенос оказывает влияние состав поступающих из моря наносов.

Таким образом, анализ закономерностей пространственного распределения особенностей гранулометрического состава наносов в различных морфологических частях Анапской пересыпи позволил получить сведения о характере и взаимосвязях природных процессов, определяющих её трансформацию.

Литература

1. Косьян Р. Д. Особенности современного морфологического строения южной части Анапской пересыпи / Р.Д. Косьян, В.В. Крыленко, М.В. Крыленко // Геоморфология. – 2012. – № 4. – С. 73-80.
2. Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов / В. П. Зенкович. – М.: изд-во АН СССР, 1962. – 710 с.
3. Крыленко В. В. Динамика аккумулятивных берегов Черного моря под влиянием природных и антропогенных факторов (на примере Анапской пересыпи) Природные и социальные риски в береговой зоне Черного и Азовского морей / В. В. Крыленко, М. В. Крыленко. – М.: Изд-во Триумф, 2012. – 96 с.
4. Косьян Р. Д. Анапские пляжи – хрупкое природное образование / Р. Д. Косьян, В. В. Крыленко, С. Б. Куклев // Природа. – 2012. – №2. – С. 19-28.
5. Крыленко В. В. Применение оборудования ГНСС LEICA GEOSYSTEMS в научных исследованиях / В. В. Крыленко // Геопрофи. – 2013. – Вып. 5. – С. 19-23.
6. Крыленко В. В. Закономерности формирования гранулометрического состава донных и пляжевых отложений Анапской пересыпи / В. В. Крыленко, Р. Д. Косьян, А. Д. Кочергин // Океанология. – Москва : МАИК "Наука Интерпериодика", 2011. – С. 1123-1134.
7. Косьян А. Р. Роль двусторчатых моллюсков в балансе осадков Анапской пересыпи/ А. Р. Косьян, Н. В. Кучерук, М.В. Флинт // Океанология. – 2012. . – Т.52. – С.1-7.
8. Кравцова В. И. Изучение и картографирование ландшафтно-морфологической структуры Анапской пересыпи по космическим снимкам высокого разрешения / В. И. Кравцова // Геодезия и картография. – 2013. – Вып. 12. – С. 43-49.

Анотація. В. В. Криленко, М. В. Криленко **Дослідження значимості і взаємозв'язків природних чинників формування гранулометричного складу відкладень і рельєфу акумулятивних берегових форм Чорного моря.** Гранулометричний склад донних і пляжевих відкладень берегових акумулятивних форм є досить «консервативним» параметром. Аналіз закономірностей формування просторових особливостей гранулометричного складу в різних морфологічних частинах досліджуваної акумулятивної форми може дати інформацію про характер і взаємозв'язках процесів, що визначають її трансформацію..

Ключові слова: Анапська пересип , Чорне море , берегова зона , гранулометричний склад.

Abstract. V. V. Krylenko, M. V. Krylenko **Research of the importance and interrelations of natural factors for sediment grain-size composition and relief of the Black sea coastal accumulative forms.** The grain-size composition of the coastal accumulative forms bottom and beach deposits is rather "conservative" parameter. The analysis of regularities of formation of the grain-size composition spatial features in different morphological zones of a coastal accumulative form can give information about feature and interrelations of the processes defining its transformation.

Keywords: Anapa bay-bar, Black sea, coastal zone, grain-size composition.

Поступила в редакцію 01.02.2014 г.