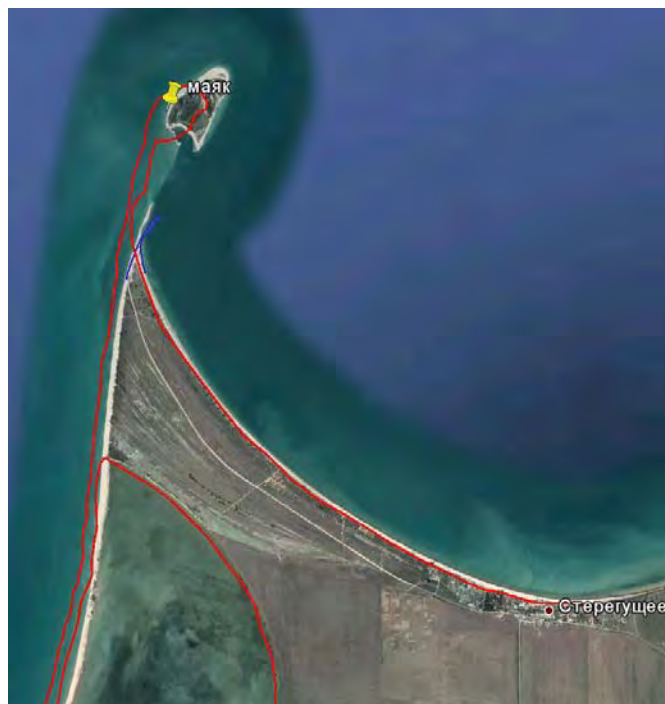


МЕХАНИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛЯЖЕВЫХ НАНОСОВ БАКАЛЬСКОЙ КОСЫ

По результатам экспедиций 2007 и 2016 гг. исследованы особенности механического состава наносов пляжей Бакальской косы и их изменения. Показано, что наносы западной части косы сложены как крупнозернистым гравийным материалом, так и средне- и мелкозернистым песчаным. Материал в восточной части косы образован преимущественно песчаными фракциями разной крупности. Максимальное накопление крупных фракций отмечается на восточной стороне оголовка косы. После отделения дистальной части косы механический состав, как и прежде, представлен крупно и среднезернистыми песками, однако доля крупных фракций резко сократилась.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *Крым, Бакальская коса, механический состав, пляжевые наносы*

Введение. Песчаная Бакальская коса, расположенная в северо-западном Крыму, вдается на 8 км в Каркинитский залив у с.Стерегущее (Раздольненский район Республики Крым). Это единственное такого рода природное образование в Крыму до 2011 г. представляло собой свободную двойную аккумулятивную форму (рис.1). Термин «свободная» означает, что оконечность косы выдвинута на расстояние большее, чем ширина ее основания. Впервые в научной литературе описание Бакальской косы и окружающего района было сделано А.И.Дзенс-Литовским в [1], где он привел её морфометрические данные. Более подробные сведения, основанные на экспедиционных работах 1945 г. Черноморской экспедиции Лаборатории океанологии Академии наук СССР, содержатся в [2], здесь же было высказано предположения о генезисе и дальнейшей эволюции косы. В [3] в основном повторялись сведения из [2], однако кроме этого анализировался и механический состав материала, слагающего саму косу, прилегающее дно и Бакальскую банку. После этих публикаций в течение длительного времени Бакальская коса, как объект исследования, надолго исчезла из научной литературы. Последующие исследования в этом районе ограничивались периодическими наблюдениями, выполняемыми различными организациями. Интерес вновь возродился в XXI в., когда стало понятно, что отмельный абразионно-аккумулятивный выравнивающийся берег, расположенный между Бакальской косой и Лебяжьими (Сары-Булатскими) островами, относится к числу самых неустойчивых, изменчивых берегов Крыма [4]. В это время выходит работа Ю.Д.Шуйского, в которой рассматривается механический состав пляжевых наносов Западного Крыма, в том числе и Бакальской косы [5]. Катастрофические шторма зимой 2007 – 2008 гг., следствием которых был значительный размыв косы, стали толчком к интенсивным исследованиям, которые проводил Морской гидрофизический институт (МГИ) [6]. Подробные сведения о строении косы и её эволюции в XXI в. содержатся в [7]. Так, там отмечалось, что в течение 2007 – 2010 гг. несколько раз было зафиксиро-



Р и с . 1 . Бакальская коса. На фоне космического снимка (август 2015 г.) береговая линия в 1984 г. (*красная линия*) и 2016 г. (*синяя линия*).

вано отделение дистальной части косы от её тела. 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. Осенью 2010 г. произошло окончательное отделение дистальной части с образованием промоины шириной более 600 м, что объяснялось аномально высоким уровнем моря в этот период в сочетании с активной штормовой деятельностью [8]. Не исключалось также и влияние добычи песка в районе Бакальской банки, которая в то время носила несанкционированный характер. К 2016 г. промоина между островом и дистальной частью косы достигла 1 км, а глубина в ней до 3 м. Остров продолжает смещаться в северо-восточном направлении, сокращаясь в размерах. В условиях изменившегося характера вдольберегового потока наносов, ранее направленного к дистальному краю косы, скорее всего, остров будет размываться и со временем может превратиться в банку. Это тем более очевидно, что само существование косы тесно связано с блокировкой берега Бакальской банкой [2], на самой же банке в настоящее время уже официально идёт промышленная добыча песка. Научная общественность бьёт тревогу, поскольку изменившиеся условия водообмена открытого моря и Каркинитского залива могут полностью изменить природные условия и экосистему последнего. Например, и ранее побережье Крыма в Каркинитском заливе периодически было подвержено катастрофическим штормовым нагонам, сопровождавшимся материальным ущербом и жертвами. В отсут-

ствие естественного препятствия в виде Бакальской косы риск повторений этого особо опасного природного явления вырос неизмеримо. Не надо забывать, что и сама Бакальская коса и прилегающие акватории имеют заповедный статус. Прогноз дальнейшей эволюции Бакальской косы можно получить, в том числе, и с использованием математических моделей. В качестве одного из важных входных параметров в них используется механический состав наносов. Его изменения в пространстве и времени также косвенно могут быть индикатором изменений вдольберегового потока наносов.

Целью данной работы является обобщение данных о механическом составе наносов Бакальской косы, полученных как ранее, так и в ходе экспедиционных работ МГИ РАН.

Материалы и методы. Для исследования состава наносов и закономерностей его распределения в период экспедиционных работ на пляжах вдоль восточной и западной частей Бакальской косы у уреза воды были отобраны пробы пляжного материала на гранулометрический анализ. Всего было отобрано 22 пробы в 2007 г. (до отделения дистальной части косы) и 5 проб в 2016 г. (после отделения). Гранулометрический анализ заключается в определении содержания разных по величине фракций зерен в исследуемом материале. Для анализа нами использовалась методика гранулометрического анализа по ГОСТ 12536-79 [9]. Модуль пробоотбора – 1 проба на 350 м.

Результаты и обсуждение. Впервые суждения о распределении наносов по крупности и его причинах на Бакальской банке высказаны В.П.Зенковичем в [10]. Он считал, что здесь ярко проявляется процесс селекции наносов, который представлялся следующим образом. С запада на косу поступает песчано-гравийный материал, состоящий из кварца, битой ракушки, обломков известняка и оолитовых зерен. При западных штормах волны гонят наносы вдоль края косы, в этом же направлении возбуждается течение. У оконечности косы течение из-за инерции слабо отклоняется в сторону и увлекает мелкий материал, образующий отмель у западного края дистали. Относительно крупный материал не покидает зону прибоя и наращивает надводную оконечность косы. При волнах северных румбов материал огибает дистальную часть и устремляется по восточному краю косы, при этом постепенно уменьшается их крупность. По данным [3] в 1945 г. на пляжах западной части косы преобладали наносы крупностью 0,5 – 0,25 мм (до 47 %), на пляжах восточной части 2 – 1 мм (до 46 %). В корневой западной части, откуда, как считал автор, поступают наносы, преобладающий их размер составлял 1 – 0,5 мм (50 %).

В отличие от В.П.Зенковича, Ю.Д.Шуйский считал, что Бакальская коса образовалась в результате отложения наносов, сносимых с западного и восточного участков, примыкающих к косе, а также поступления ракушки и обломков известняка с подводного склона моря [5]. Им был исследован состав наносов береговой дуги Бакальской бухты (восточная часть соответствующей косы). Всего было отобрано 8 проб или в среднем 1 проба на 1,0 км длины береговой линии. Наиболее крупные наносы (медианный размер (Md) равен 6,8 мм), представленные ракушкой, располагались у восточного основания косы, перед которой находится широкая отмель. С этой отмели (глубины 2 – 3 м) ракушка выбрасывается на берег господствующими севе-

ро-восточными волнами. В условиях распространения результирующего потока ветро-волновой энергии от участка восточнее с.Стерегущее к дистали Бакальской косы ракуша постепенно измельчается; в том же направлении постепенно уменьшается количество терригенного материала, сносимого из глинистых клифов. В итоге Md снижается от 6,8 до 0,95 мм у дистали косы. По мере уменьшения Md к дистали Бакальской косы увеличивается коэффициент сортировки (S_0) с 1,2 до 2. Подавляющая часть песчаного материала наращивает центральный участок восточной стороны косы и ее вершины не достигает, так как в привершинной части бухты Md резко возрастает до 10,0 мм. Такие высокие значения Md связаны с накоплением ракуши и ее селекцией у оконечности косы [10].

Вторым источником питания косы наносами является клиф к западу от м.Красного, расположенного в точке примыкания западной ветви косы к берегу, из которого вымываются обломки известняка и песчаные фракции глинистых пород. Однако количество песка, перемещаемого с запада к косе, намного меньше, чем перемещаемого с востока, что находит выражение в различной ширине западной и восточной пересыпей Бакальского озера. Автор ошибочно пишет, что с западной стороны Бакальской косы подводный склон является более приглубым, чем к востоку от нее. На самом деле, восточный – более приглубый. Однако западные ветры, ввиду большего разгона, чем на восточной ветви, генерируют более высокие волны, поэтому волновое воздействие на берег интенсивнее. В условиях береговой зоны западного Крыма границей раздела наносов волнового (O_v) и неволнового (O_n) полей является размер зерен 0,1 мм, поскольку более мелкие фракции в береговой зоне встречаются в количестве нескольких процентов даже при отмелом подводном склоне.

Бóльшие размеры волн, меньшее количество поступающего наносного материала обуславливают большую степень волновой переработки наносов с западного фланга Бакальской косы по сравнению с восточным флангом. По данным [5] на западной стороне Бакальской косы на пляже в 80-х гг. XX в. преобладали фракции наносов 1,0 – 0,1 мм, составляющие в сумме до 70 – 97 % (в 1945 г. – до 92 %). Соответственно, значения Md колебались от 0,23 до 5,0 мм; а в среднем он был равен 1,38 мм. Причем, $Md \geq 0,65$ мм встречался в 25 % случаев и преимущественно у прикорневой части косы за счет накопления здесь обломков известняка и ракушечного детрита, поступившего с подводного склона моря. Все это накладывает отпечаток на значения Md , которые меняются от 0,25 мм у корня до 1,2 мм в центральной части западного фланга косы.

Данные гранулометрического анализа проб, отобранных в августе 2007 г., показаны на рис.2 – 4. В среднем для всех проб в пляжном материале Бакальской косы преобладает фракция среднезернистых песков (1 – 0,5 мм). Её процентное содержание в пробах составляет около 25 %. Общая доля песчаной фракции во всех пробах составила в среднем 48 %. Что касается гравийного материала, то он представлен в основном мелкозернистыми (2 – 1 мм) и крупнозернистыми (10 – 5 мм) фракциями, доля которых в среднем составила 24 и 21 % соответственно. Максимальное накопление крупногравийного материала отмечается на восточной части дистального конца косы

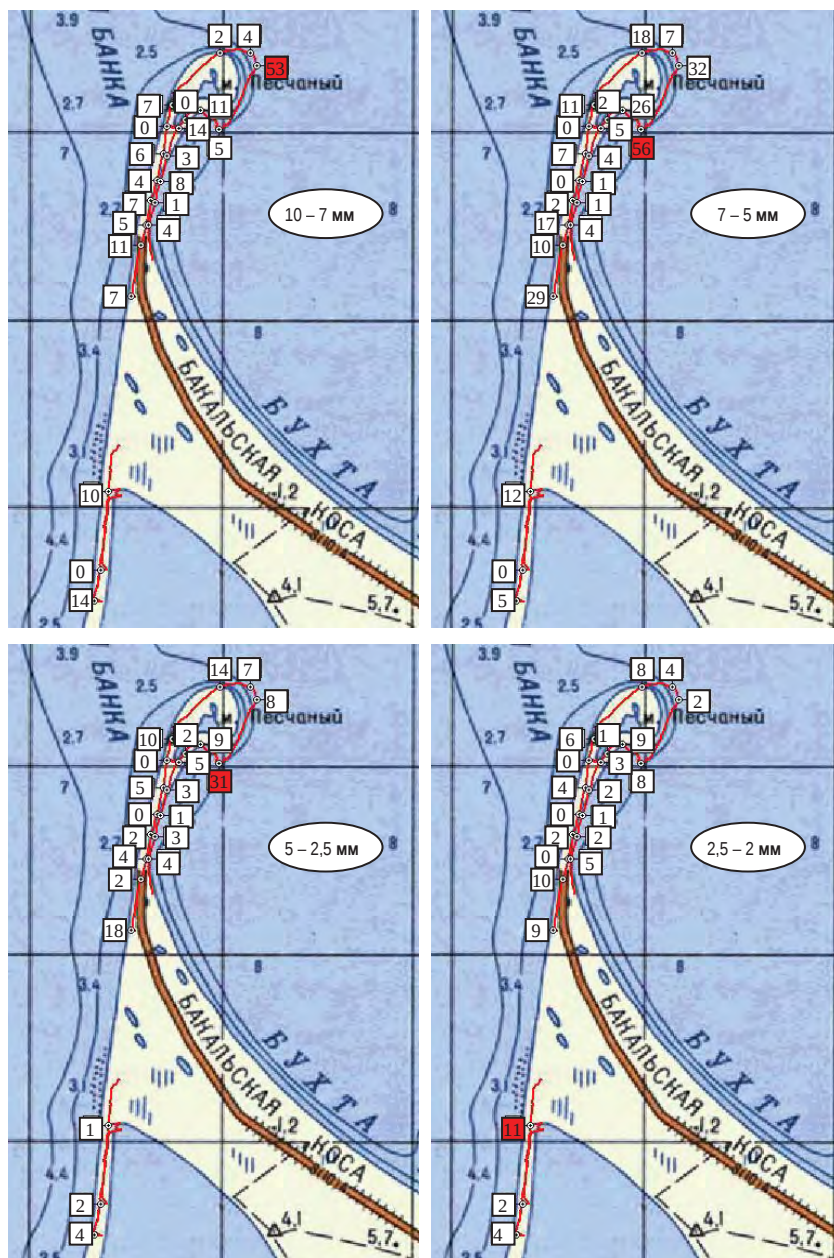


Рис. 2. Процентное содержание фракций в пляжном материале для различных точек; максимум обозначен красным (размер фракций внутри овала).

и изменяется от 37 до 86 %, что подтверждает гипотезу о сепарации наносов по мере продвижения и огибании дистальной части косы (рис.2).

Содержание в наносах пляжа более мелких фракций (0,25 – 1 мм) на западной части косы изменяется от 6 до 93 % и в среднем по пробам составляет 49 %. Вместе с тем, характер гистограмм распределения фракций показывает их различие в зависимости от местоположения. Осредненные для групп

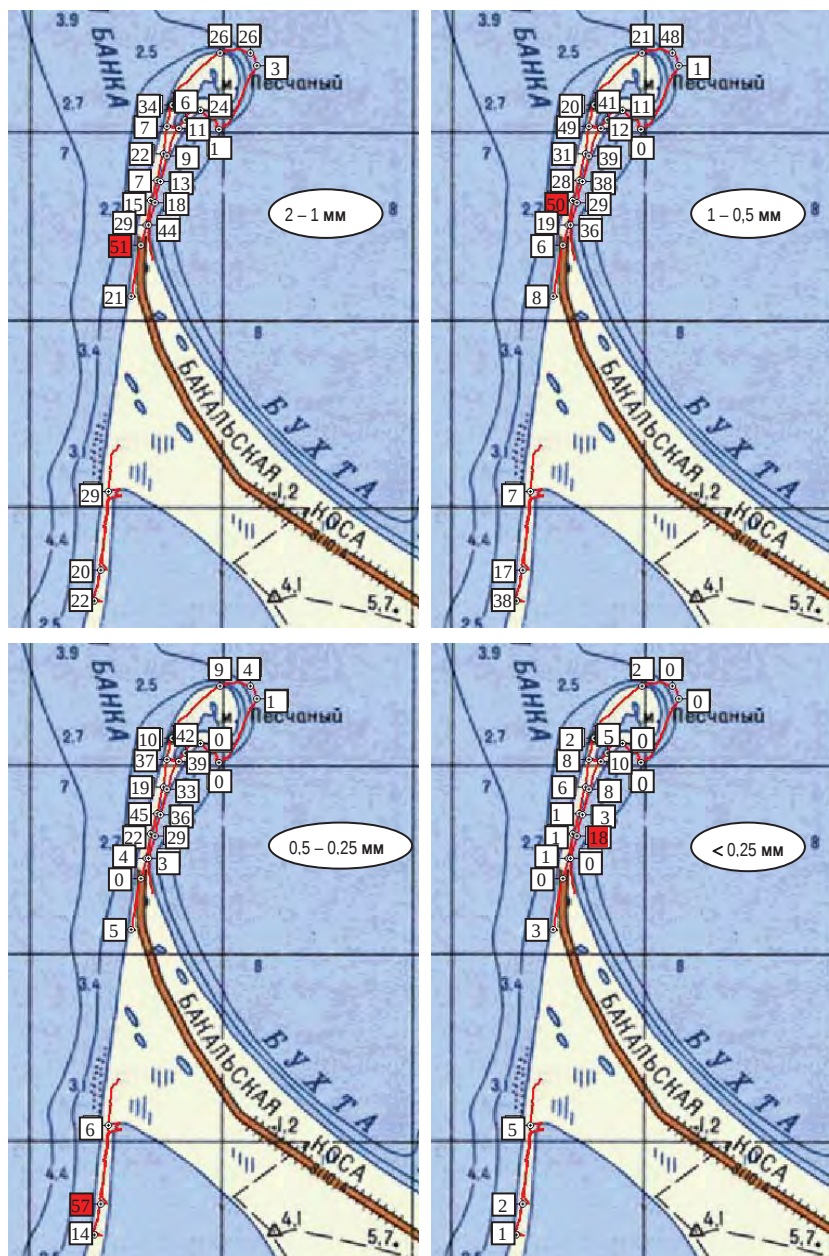
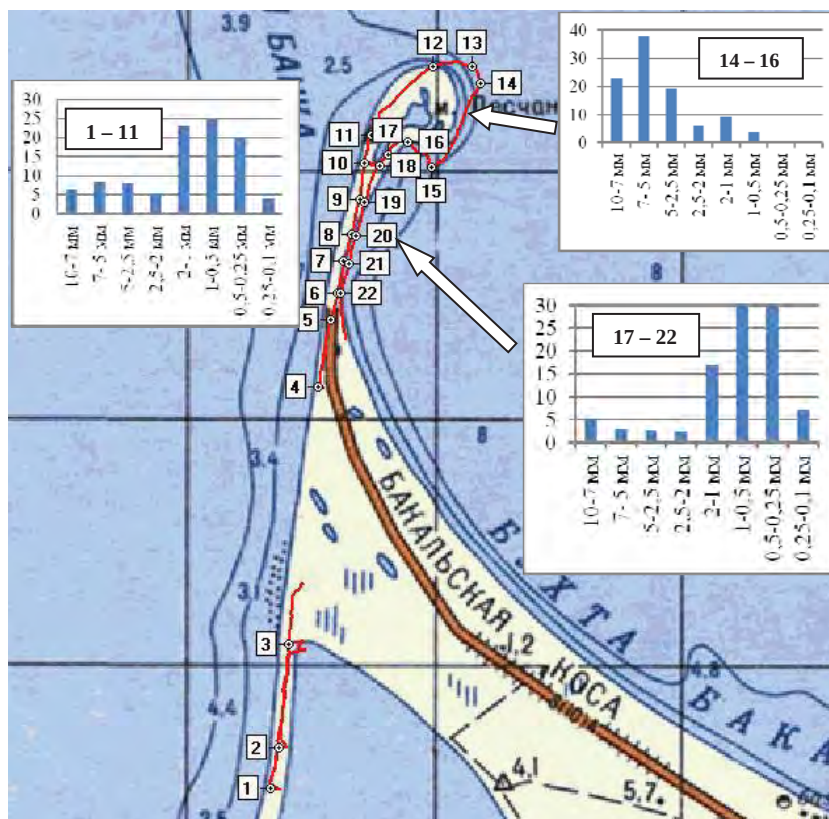


Рис. 3. Процентное содержание фракций в пляжном материале для различных точек; максимум обозначен красным (размер фракций внутри овала).

проб гистограммы среднего процентного содержания различных размерных фракций приведены на рис.4. Из него видно, что на западной ветви косы преобладают песчаные фракции размером 1 – 0,5 и 0,5 – 0,25 мм, которые в сумме составляют 45 %. Однако, по сравнению с ранее полученными результатами, отличительной особенностью проб, отобранных в 2007 г., является повышенное содержание более крупных гравийных фракций в западной



Р и с . 4. Гистограммы распределения среднего процентного содержания различных размерных фракций для групп проб. Цифры по оси абсцисс – размерности фракций. Цифры по оси ординат – среднее процентное содержание для группы проб. Цифры внутри гистограмм – номера проб, обозначенных на карте.

части косы. Содержание гравийного материала различной крупности составляет 51 %. Наибольший вклад вносит мелкозернистая фракция (28 %) и крупногравийные наносы (15 %).

На оголовке дистальной части резко возрастает процентное содержание крупных частиц, доля гравийной фракции (10 – 1 мм) достигает 78 %, одновременно уменьшается содержание более мелких фракций, особенно размером < 0,25 мм. Максимальное накопление крупных фракций отмечается на восточной стороне оголовка, изменяясь от 89 до 100 %, песчаный материал практически полностью отсутствует.

Далее к югу на востоке дистальной части содержание крупных фракций последовательно уменьшается, при этом резко возрастает процентное содержание относительно мелких фракций. Для группы проб восточной части косы характерно резкое преобладание мелкозернистых наносов (рис.3). Доля песчаного материала (< 1 мм) здесь превышает 70 %. Около 80 % песчаной составляющей наносов представлено фракцией размера 0,25 – 1,0 мм, а ее содержание изменяется от 40 до 83 %. Гравийный материал в наносах восточного фланга косы наиболее полно представлен фракцией 2 – 1 мм и

не превышает 17 %. Доля крупного материала уменьшается по мере удаления от прикорневой части косы, о чем говорит уменьшение значений Md с 1,69 до 0,81 мм. Коэффициент сортировки наносов восточной части возрастает в сторону дистальной оконечности косы, изменяясь от 1,32 до 2,60. В целом, наносы западной и восточной сторон косы относятся к средне сортированным, что согласуется с ранее полученными результатами [5].

Гранулометрический анализ проб, отобранных в 2016 г., спустя 6 лет после отделения дистальной части косы, показал, что фракционный состав, как и прежде, представлен крупно- и среднезернистыми песками, однако доля крупных фракций резко сократилась. На западной стороне косы гравийный материал практически полностью отсутствует, а на восточной представлен мелкозернистой фракцией, доля которой едва превышает 7 %.

Значения Md для наносов пляжей западной части составили 0,6, для восточной – 1,2 мм. Величины коэффициента сортировки наносов со временем претерпели некоторые изменения. Значения S_o на западной и восточной частях косы снизились до 1,4 – 1,36 и теперь (наносы) относятся к хорошо отсортированным. Таким образом, анализ механического состава проб пляжного материала показал их существенное различие в зависимости от географического положения. При этом можно выделить три региона – западную и восточную части Бакальской косы и восточную периферию дистальной части. Необходимо отметить, что со временем относительное соотношение гравийного и песчаного материала на разных сторонах косы изменяется.

Выводы.

1. В среднем для всех проб в пляжном материале Бакальской косы преобладает фракция среднезернистых песков (1 – 0,5 мм). Общая доля песчаной фракции составляет 48 %.

2. Гравийный материал представлен в основном мелкозернистыми (2 – 1 мм) и крупнозернистыми (10 – 5 мм) фракциями. Максимальная доля крупнозернистых фракций отмечается на восточной стороне оголовка дистали и изменяется от 89 до 100 %. Песчаный материал здесь практически полностью отсутствует, что подтверждает гипотезу о сепарации наносов по мере продвижения и огибании дистальной части косы. Доля крупного материала уменьшается по мере удаления от прикорневой части косы.

3. Спустя шесть лет после отделения дистальной части косы фракционный состав, как и прежде, представлен крупно- и среднезернистыми песками, однако доля крупных фракций резко сократилась. На западной стороне косы гравийный материал практически полностью отсутствует, а на восточной представлен мелкозернистой фракцией, доля которой едва превышает 7 %.

4. Анализ проб, отобранных в 2016 г., показал, что значения S_o на западной и восточной частях косы снизились до 1,40 – 1,36 и теперь наносы относятся к хорошо отсортированным.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2014-0010 в части анализа механического состава пляжевых отложений, в части, касающейся динамики береговой линии в районе Бакальской косы, поддержана грантом РФФИ 14-17-00547.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дзенс-Литовский А.И.* Пересыпи и косы Крымских соляных озер // Изв. Рос. геогр. об-ва.– 1933.– т.65, вып.6.
2. *Зенкович В.П.* Бакальская коса / Сб. раб. Института океанологии АН СССР.– 1955.– № 4.– С.86-101.
3. *Зенкович В.П.* Морфология и динамика советских берегов / Том II. Северо-западная часть.– М.: Изд-во АН СССР, 1960.– С.117-125.
4. *Клюкин А.А.* Экстремальные проявления экзогенных процессов в XX веке в Крыму // Вестник ТНУ.– 2000.– вып.2.– С.21-24.
5. *Шуйский Ю.Д.* Механический состав пляжевых наносов на западных берегах Крымского п-ова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь, 2007.– вып.27.– С.370-385.
6. *Горячкин Ю.Н.* Мониторинг изменчивости береговой зоны в районе Бакальской косы // Системы контроля окружающей среды.– Севастополь, 2008.– С.242-244.
7. *Горячкин Ю.Н., Иванов В.А., Удовик В.Ф., Харитонова Л.В., Шутов С.А.* Современное состояние и эволюция Бакальской косы // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь, 2012.– вып.26, т.1.– С.8-15.
8. *Горячкин Ю.Н., Иванов В.А.* Новый остров в Черном море? // Доп. НАН України.– 2013.– № 8.– С.100-104.
9. *ГОСТ 12536-79.* Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава.– М.: Изд-во стандартов, 1988.– 22 с.
10. *Зенкович В.П.* Основы учения о развитии морских берегов.– М.: Изд-во АН СССР, 1962.– 710 с.

Материал поступил в редакцию 11.04.2017 г.

Yu.N.Goryachkin, K.I.Gurov

MECHANICAL COMPOSITION OF BAKAL SPIT BEACH SEDIMENTS

According to the results of the expeditions of 2007 and 2016, the features of the mechanical composition of the Bakal spit beach sediments and their changes were investigated. It is shown that the deposits of the western part of the spit are composed of both coarse-grained gravel material and medium and fine-grained sand. The material in the eastern part of the spit is formed mainly by sandy fractions of different sizes. The maximum accumulation of large fractions is noted on the eastern side of the head of the spit. After separation of the distal part of the spit, the mechanical composition is still represented by coarse and medium-non-grained sands, but the share of large fractions has sharply decreased.

KEYWORDS: the Crimea, the Bakal spit, mechanical composition, beach sediment