

Л.В.Харитонова

Морской гидрофизический институт РАН, г.Севастополь

ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ ФОРМЫ РЕЛЬЕФА ДНА У БЕРЕГОВ ЗАПАДНОГО КРЫМА

На основе цифровой модели рельефа высокого разрешения проведен анализ морфометрических характеристик рельефа дна у западного берега Крыма. Определены особенности строения основных морфоструктур, что позволило дополнить картину существующих сведений о подводных эрозионных формах у берегов Крыма. Согласно особенностям рельефа дна вдоль берегов западного Крыма выделено 4 бассейна местной аккумуляции: Каркинитский, Донузлавский, Евпаторийский и Севастопольский. Сделан вывод о том, что напротив практически всех водотоков и балок суши, а также на подводных продолжениях балок, формирующих лиманы, расположены песчаные понижения и желоба, протягивающиеся на мелководье от верховьев каньонов. Подтверждения полученных результатов найдены на спутниковых снимках высокого разрешения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *Черное море, рельеф дна, подводные каньоны, береговая зона, спутниковые снимки*

Одной из важнейших составляющих баланса наносов в береговой зоне является сток терригенного материала по эрозионным понижениям на поверхности шельфа и далее по подводным каньонам, которые пересекают материковый склон и выходят на глубоководное ложе моря, образуя конуса выноса. Такие подводные природные системы предопределены геологическим строением территории и распространены достаточно неравномерно. Почти всегда эти структуры направлены перпендикулярно материковому шельфу, имеют сложный морфологический дендровидный рисунок [1] и существенным образом влияют на всю динамику и развитие береговой зоны в районах своего существования.

Первые упоминания о каньонах в научной литературе датируются второй половиной XIX в., однако, до 1948 г. считалось, что эти формы рельефа отсутствуют в Черном море. Во второй половине XX в. в исследовательских работах лишь упоминалось о наличии нескольких подводных долин. Инструментально подводные каньоны в Черном море были зафиксированы лишь в 80-х гг. XX в. [1 – 5], на основе чего было составлено морфологическое описание этих структур. Наиболее полно взаимосвязи литодинамических процессов подводных каньонов и береговой зоны рассматриваются в работе [6], где, к тому же, указывается на необходимость дальнейших фундаментальных исследований темы. Проблемы влияние подводных каньонов на перераспределение наносов в береговой зоне должны непременно учитываться при проектировании инженерной защиты берегов и возможностей комплексного рационального использования ресурсов прибрежной зоны.

В основе настоящей статьи лежит анализ морфометрических характеристик рельефа дна у западного берега Крыма на основе цифровой модели рельефа высокого разрешения, построенной на основе всех имеющихся ба-

симметрических карт района исследования. Задачи статьи включают определение положения путей возможного изъятия материала из зоны волнового воздействия и транспортировки его из береговой зоны в более глубокие участки дна Черного моря. При этом автор отдает себе отчет в предварительном характере полученных результатов и необходимости дальнейшего изучения затронутой проблемы.

Материалы и методика исследования. Согласно [1], подводные каньоны в Черном море имеют глубины вреза на различных участках первых метров – у истока до 870 м – при пересечении уступа материкового склона.

Для определения морфометрических показателей истоков подводных каньонов и последующего их анализа выполнена оцифровка всех доступных морских навигационных карт. Осуществлен перевод всех данных в единую географическую систему координат WGS84. После проверки и отбраковки данных рассчитана регулярная матрица значений высот с пространственным разрешением $\sim 140 \times 125$ м (870×1000 точек). При интерполяции использовался метод Кригинга. Полученная цифровая модель рельефа акватории вдоль западного берега Крыма охватывает район от $44,57^\circ$ до $46,15^\circ$ по широте и от $32,12^\circ$ до $33,69^\circ$ по долготе (рис. 1).

При исследовании рельефа дна региона следует учитывать, что из-за неравномерного расположения точек натуральных наблюдений и попутных промерных галсов существующее представление о положении подводных каньонов не совсем достоверно [3]. Дополнительно плановое расположение эрозионных систем устанавливается по морским навигационным картам, которые отражают осредненные черты расчлененности подводного рельефа [5]. Поэтому в значительной степени такое определение положений подводных каньонов гипотетично и может быть уточнено только специальными исследованиями, направленными на изучение структуры подводных каньонов и процессов, протекающих в них.

В ходе работы над статьей была осуществлена попытка применения спутниковых снимков высокого разрешения для выявления положений отрицательных форм рельефа дна, по которым может происходить сток материала из береговой зоны. Согласно [7], в Черном море на снимках, полученных в штилевых условиях, в видимом диа-

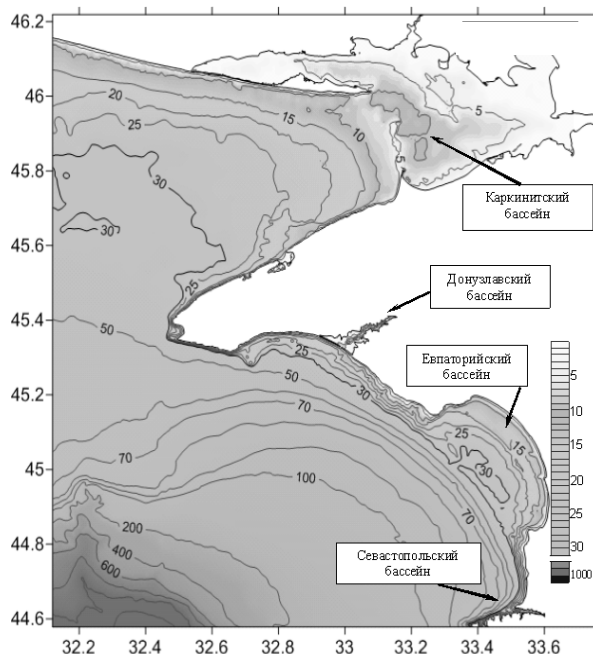


Рис. 1. Картограмма расположения бассейнов аккумуляции наносов на шельфе вдоль Западного Крыма.

пазоне просматривается дно до глубин 20 м.

Проведен анализ снимков высокого разрешения, выложенных на сервере *Google*. Используя функцию «Исторические фотографии», выбирались снимки, полученные при подходящих погодных условиях, для различных участков береговой зоны западного Крыма. Выделение плоскостей смыва, оврагов, отвержков и балок проводилось как чисто визуально, так и по ряду сопутствующих признаков: пространственное распределение растительности и наносов на дне. Вдоль берега обычно расположена полоса светлых наносов, мористее этой зоны обычно располагается еще просматриваемое по космическим снимкам в видимом диапазоне дно, покрытое растительностью. Положение песчаных понижений в береговой зоне выделялось при условии, что зона с растительным покровом прерывается полосой светлых наносов, простирающихся поперек берега, в дополнение к этому на берегу расположено устье оврага либо балки.

Различные аномалии и неоднородности на морской поверхности являются следствием взаимодействия динамических или волновых процессов в толще моря с глубоководными формами подводного рельефа. В работе [7] указано, что косвенно информацию о подводном рельефе можно получить, исследуя эффекты рефракции длинных волн в прибрежной зоне и над отдельными формами подводного рельефа, а также изучая внутренние волны и их поверхностные проявления в шельфовой зоне, особенности генерации, распространения и диссипации которых часто связаны с крупномасштабными формами подводного рельефа.

Анализ результатов. Системы подводных каньонов всего северо-западного шельфа Черного моря выносят наносы в зону конечной аккумуляции глубоководного ложа Западно-Черноморской впадины [4]. Однако, учитывая мелководность изучаемого района, нас интересуют так называемые промежуточные бассейны аккумуляции, которые могут располагаться и в зоне активного волнового воздействия. Такие бассейны приурочены к особенностям рельефа дна, и наносы могут задерживаться в них на более или менее длительное время.

Для шельфа Черного моря граница зоны влияния волновых колебаний и вызванных ими течений на дно, зачастую, не превышает глубин 10 – 15 м [8]. Ниже этой зоны шельф характеризуется резким увеличением глубин и наличием уступов, соответствующих древним морским береговым террасам. Здесь располагается зона слабого волнового воздействия, которая простирается до края прибрежной отмели. За пределами прибрежной отмели лежат области неволновой аккумуляции.

Проанализировав особенности рельефа дна исследуемого региона, выделены основные орографические определенные бассейны местной промежуточной аккумуляции: Севастопольская бухта, озеро Донузлав, Каркинитский и Евпаторийский бассейны (рис. 1).

В рельефе дна Севастопольская бухта выражена в виде корытообразной ложбины длиной около 7 км, ширина которой изменяется от 1300 м на западе до 700 – 800 м в восточной кутовой части. Большая часть выровненного дна бухты оконтуривается глубинами около 16 м, в центральной части имеет глубины до 18 м. Фарватер бухты, имея глубину 19,5 м, частично преграж-

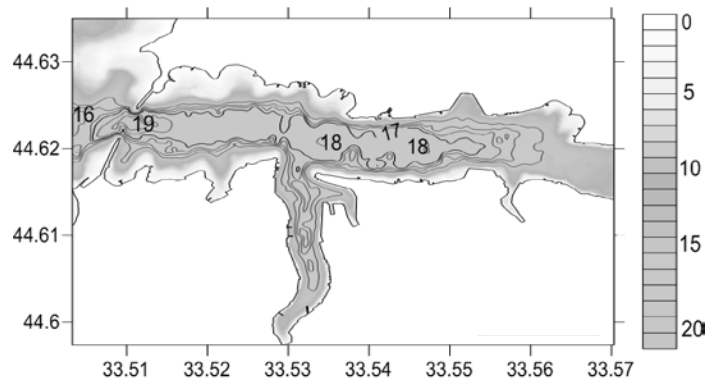
ден молами (рис.2). В работе [9] проведен анализ рельефа дна бухты по батиметрическим материалам и данным сейсмоакустического профилирования, отмечается небольшое, относительной высотой около 1 – 2 м, вытянутое с севера на юг валообразное возвышение непосредственно западнее входных молов в Севастопольскую бухту. Непосредственно с востока к нему примыкает понижение относительной глубиной 2 м, шириной около 200 м и длиной до 800 м. Такая структура рельефа совместно с входными молами играет роль порога на входе в бухту, препятствующего выводу донного материала из бухты, большая часть осадков, поступающих в бухту, в ней и остается.

Озеро-залив Донузлав морфологически относят к бухтам риасового типа. Длина его свыше 30 км, ширина вдоль пересыпи 9 км. Центральная часть оконтурена изобатой 5 м (рис.3). Соединение с морем осуществляется посредством судоходного канала, переуглубление фарватера которого периодически проводится до 10 м. При этом усиливается наносообмен между Донузлавом и шельфом, однако наносы из наиболее глубокой центральной части котловины озера с глубинами более 20 м не участвуют в таком перемещении. В работе [10] на основе анализа батиметрических съемок выделены естественные препятствия наносообмена с открытым морем. Так, между изобатами 10 и 20 м выявлены три небольшие банки с малыми глубинами, расположенные севернее и южнее судоходного канала, а на удалении 100 – 200 м от уреза отмечено несколько вдольбереговых валов высотой до 1,5 м, не отмеченных на батиметрических картах. Таким образом, наносы, поступающие по многочисленным эрозионным формам в Донузлавское озеро, в основном аккумулируются в центральной его части.

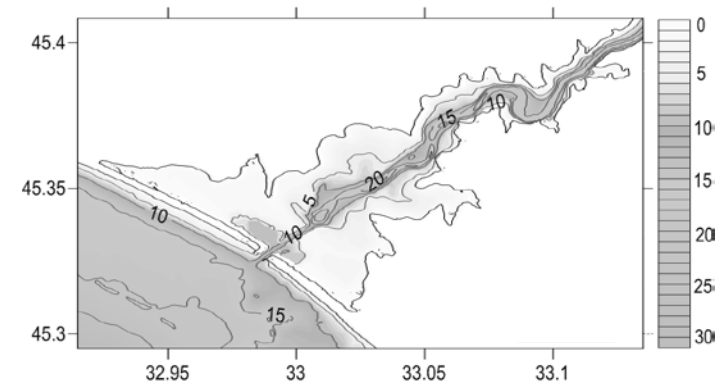
Следующим рассматриваемым районом является Каркинитский залив. Характерной особенностью наносообмена вершинной части залива является наличие преграждающих путь в открытое море банок Каланчакской, Чумрюкской и Бакальской, глубины над вершинами которых составляют около 2 м (рис.4). Между этими орографическими преградами расположен бассейн аккумуляции, который в данной работе предлагается называть Каркинитским. Максимальная глубина его составляет всего 13,4 м, однако, если учесть мелководность залива и наличие достаточного количества наносов в районе, этот бассейн может улавливать значительное количество материала.

На мелководье Евпаторийской бухты между пересыпью Сасыкского озера и реликтовым внешним подводным валом Каламитского залива [11], который представляет собой древнюю береговую линию, расположен Евпаторийский бассейн промежуточной аккумуляции (рис.5). Вал, являясь барьером, с глубинами над вершинной частью до 9 м, преграждает миграцию наносов на глубинах 13 – 15 м. Этот бассейн не является замкнутым, однако, с нашей точки зрения, может играть существенную роль в миграции наносов вдоль побережья Каламитского залива.

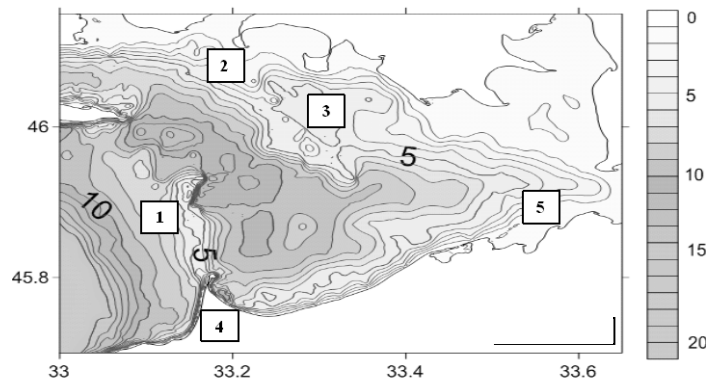
Вдоль берегов Западного Крыма в связи с отсутствием впадающих здесь в море больших рек сеть подводных каньонов выражена не так явно, как на остальных берегах Черного моря. Наиболее крупная система региона связана с подводным продолжением палеодолины реки Каланчак и пролегает по дну Каркинитского залива. Натурные исследования [1, 3, 4] выявили несомненную связь наносов в каньонах региона с сушей и показали, что глубина



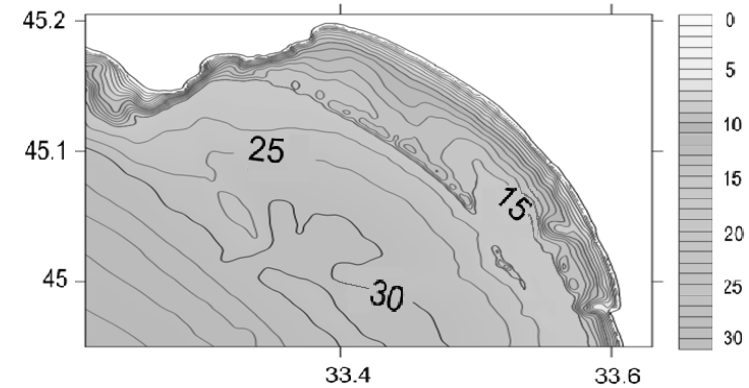
Р и с . 2 . Карта рельефа дна Севастопольской бухты.



Р и с . 3 . Карта рельефа дна озера Донузлав.



Р и с . 4 . Карта рельефа дна вершинной части Каркинитского залива. Цифрами в квадратиках обозначены: Бакальская (1), Каланчакская (2) и Чурюмская (3) банки; Бакальская коса (4); Лебяжьи острова (5).



Р и с . 5 . Карта рельефа дна Каламитского залива.

погребенного эрозионного русла вреза палеодолины на траверзе м.Тарханкут 80 – 90 м. Палеодолины рек Донузлав, Альма, Кача, и Бельбек на шельфе простираются на небольшие расстояния, так как ширина шельфа здесь не превышает 15 – 20 км, за исключением палеодолины Донузлав, имеющей длину в 45 км. Палеорула этих рек имеют прямолинейное заложение, переруглубленные каньонообразные долины, выполненные аллювием [3, 4].

В зоне активного волнового воздействия расположены подводные продолжения балок, открывающихся непосредственно к морю либо в лиманы. Так, около всех больших балок и на траверзах лиманов выявлены малые эрозионные формы, соединяющихся с оформленными вершинами каньонов (рис.6). Всем выявленным основным притокам, их ветвям и рукавам принято давать их собственные наименования, выбираемые по названиям географических объектов на берегу (мысы, заливы, лиманы, озера, населенные пункты, устья рек), расположенных на траверзе основного направления простираения понижения.

В кутовой части Каркинитского залива вдоль побережья от п.Аврора до п.Портовое выделяется 6 подводных понижений, расположенных на продолжениях балок и оврагов суши (рис.6). Эти структуры вблизи берега имеют малый уклон. Одна ветвь прослеживается от восточной части по оси залива, еще две с более крутыми уклонами спускаются от восточного берега Бакальской косы: одна – в районе свала глубин у оголовка косы, другая – в центральной части. Упомянутые подводные ветви имеют небольшую протяженность и транспортируют, попадающие в них наносы в Каркинитский бассейн аккумуляции.

На участке от Бакальской косы до п.Черноморское непосредственно в береговой зоне на подводном продолжении балок формируется 38 рукавов, соединяясь формирующие два притока долины палео-Каланчака (рис.6): Бакальский и Ярылгачский. Последний, согласно [1], впадает в палео-Каланчак у п.Межводное на глубинах около 30 м.

Далее вплоть до м.Тарханкут обнаружено 6 впадин, вершины которых лежат в береговой зоне (рис.6). Две из них берут начало в Каранджинской бухте и еще одна у м.Тарханкут в районе маяка. От м.Тарханкут до м.Урет в береговой зоне дно на малых глубинах имеет выровненную структуру.

От пересыпи оз.Донузлав двумя рукавами берет истоки Донузлавский каньон. В береговой зоне от м.Урет до Донузлава выявлено 13 понижений, являющихся рукавами 5 правых притоков палеодолины Донузлава (рис.6). В работе [3] отмечается, что у п.Морское один из истоков каньона зафиксирован в 6 км от берега, где прослеживается с глубины 42 м и протягивается на запад до глубины 55 м резко поворачивает на юг.

На участке от пересыпи оз.Донузлав до м.Евпаторийский подводные впадины расположены на продолжении логов, образующих лиманы. Эти формы рельефа дна хорошо проявляются в изгибах изобат и просматриваются при анализе спутниковых снимков, что позволяет выделять наиболее крупные с определенной степенью достоверности. Ойбурский рукав расположен напротив одноименного лимана (между п.Поповка и п.Штормовое), юго-восточнее, также напротив озер-лиманов, расположены впадины Витимский (п.Витино), Соленый (оз.Соленое п.Молочное) (рис.6). От западного берега м.Евпаторийский берет начало еще одна ложбина стока.

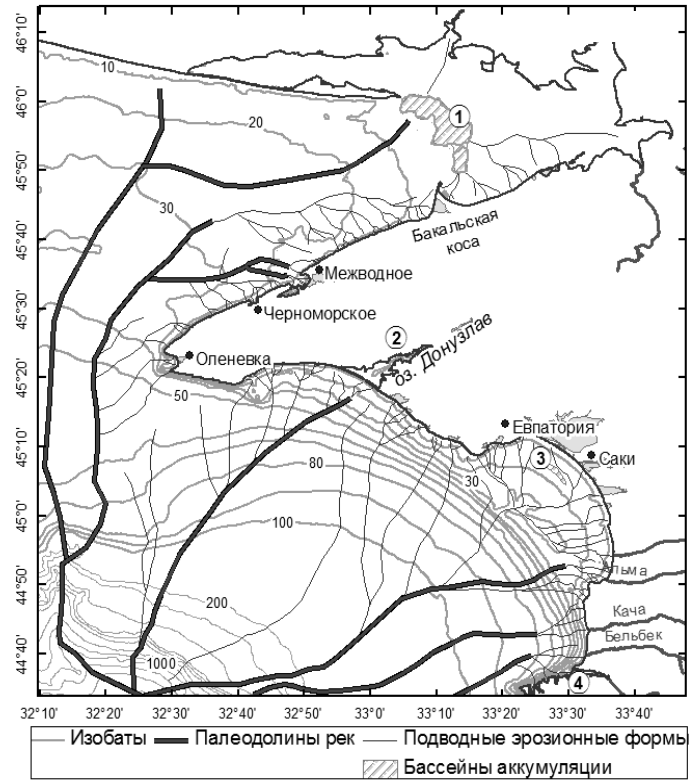


Рис. 6. Каньонная сеть вдоль берегов Западного Крыма. Цифрами в кружках обозначены бассейны местной аккумуляции наносов: Каламитский (1), Донузлавский (2), Евпаторийский (3), Севастопольский (4).

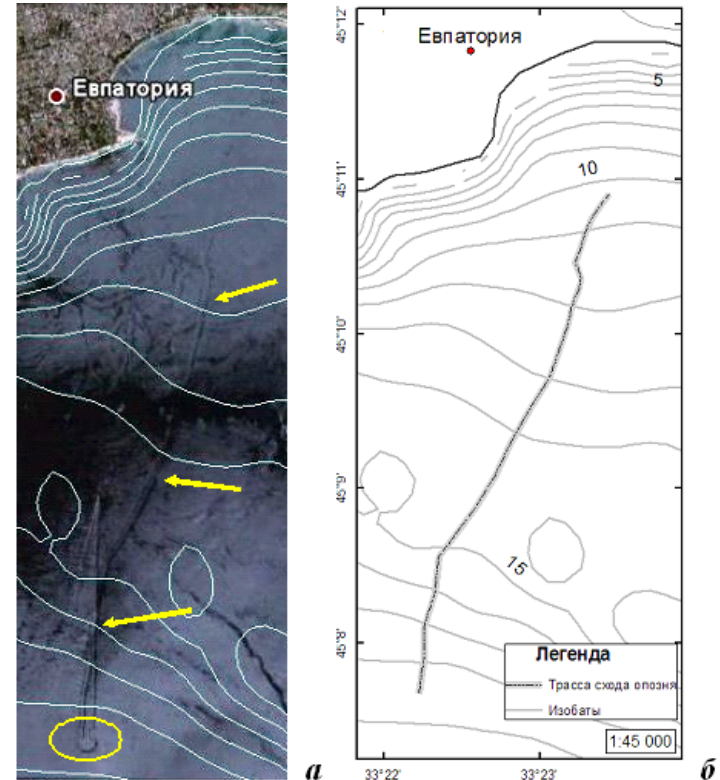


Рис. 7. На космическом снимке, возможно, зафиксирован сход подводного оползня в Каркинитском заливе: снимок 16 июля 2010 г. с интернет ресурса *Google* (а); трасса оползня на карте (б).

В пределах Каламитского залива от Евпаторийского мыса до п.Песчаное эрозионные врезы выявлены на подводных продолжениях лиманов и балок. Все они соединяются в единый приток палеоруслу р.Альма, формируя Каламитскую долину стока. Это образование отчетливо прослеживается по изобате 30 м, имеющей очертания трилистника, расположенного на морской границе Каламитской бухты и является продолжением Мойнакской, Евпаторийской, Сакско-Сасыкской, Кызыл-Ярской, Багайлинской и Булганакской притоков (рис.6). В работе [3] указывается, что, начиная с глубин 18 – 20 м, в этом районе долины имеют достаточно узкие (0,2 – 0,4 км) каналы стока от берега до глубины 25 – 30 м, а дальше вниз по простиранию расширяются до 1 – 3 км, имея пологие слабонаклоненные склоны.

При анализе спутниковых снимков этого участка на одном из снимков от 16 июля 2010 г. удалось проследить отображение на водной поверхности подводного явления (рис.7). Вполне возможно, что это проекция подводного оползня, довольно четко зафиксированная на снимке. Трасса движения оползня совпадает с одной из плоскостей смыва в Каркинитском заливе, проходя через промоину в реликтовом подводном валу, оползень практически подошел к изобате 20 м. Вероятно, он продолжил свой путь и далее, так как снимок зафиксировал состояние поверхности моря на определенный момент.

На участке от п.Николаевка до устья р.Кача на подводном продолжении водотоков и балок эрозионные врезы выделяются непосредственно вблизи берега.

Далее на юг, до м.Херсонес врезы отмечены напротив устьевых участков р.Кача, Бельбек, Черной и бухт северного берега Гераклеяского п-ова (рис.6). В работе [3] эти долины описаны как глубоко врезанные, каньонообразные формы с почти вертикальными стенками. Глубина их вреза по данным съемки методом звуковой геолокации достигает 75 м и более, а ширина долин около 2 км. Заполненные осадками, они в современном рельефе практически не проявлены.

Принимая во внимание тот факт, что сток рек Западного Крыма в значительной мере зарегулирован и аллювиальный материал в береговую зону поступает только в периоды паводков, можно предположить, что все описанные в настоящей работе эрозионные системы забирают материал непосредственно из береговой зоны, то есть имеют латеральное питание. Лишь Альминский, Качинский и Бельбекский каньоны в паводковые периоды могут принимать твердый сток рек.

Получена новая информация о структуре рельефа дна на шельфе вдоль западного Крыма. Согласно особенностям рельефа дна вдоль берегов западного Крыма выделено 4 бассейна местной аккумуляции: Каркинитский, Донузлавский, Евпаторийский и Севастопольский. Поступая в береговую зону Западного Крыма, терригенный материал может на более или менее длительное время задерживаться в этих формах.

В результате проделанной работы получено подтверждение предположений о том, что напротив практически всех водотоков и балок суши, а также на подводных продолжениях балок, формирующих лиманы, расположены впадины, формирующие истоки каньонов. Всего выявлено 82 подводные эрозионные формы с вершинами, расположенными в береговой зоне.

Все они представляют собой единую каньонную сеть шельфа вдоль Западного Крыма и составляют приток Западно-Крымского каньона, несущего наносы в Западно-Черноморский бассейн конечной аккумуляции.

Основную часть отрицательного бюджета наносов составляет сток по подводным каньонам и их притокам. Подводные каньоны осуществляют канализацию материала и загрязняющих веществ в глубоководную часть Черного моря. Наличие этих элементов в береговой зоне оказывает влияние на количество терригенного материала в зоне активного волнового воздействия, а, следовательно, на характер прибрежного рельефа дна и динамику берега.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельник В.И. Мезоформы рельефа материкового склона Черного моря // Геологический журнал. – 1996. – № 1-2. – С. 123-131.
2. Крыстев Т.И., Мельник В.И., Йорданов Б.И. Первая карта подводных долин и каньонов западной части Черного моря // Геологическая эволюция западной части Черноморской котловины в неоген-четвертичное время. – София: Изд-во БАН, 1990. – С. 466-493.
3. Мельник В.И. Влияние речной сети суши на рельеф и осадконакопление в Черном море // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2001. – вып. 4. – С. 112-124.
4. Шнюков Е.Ф., Иванников А.В., Григорьев А.В., Клещенко С.А. и др. Геологические исследования НИС «Профессор Водяницкий» в Черном море (47 рейс) / Препринт. – Киев: ОМГОР, ЦНПМ НАН Украины, 1995. – 175 с.
5. Авдеев А.И., Белокопытов В.Н. Морфометрические характеристики и расчлененность рельефа дна северной части Черного моря // Морской гидрофизический журнал. – 2011. – № 4. – С. 43-63.
6. Сафьянов Г.А., Меншиков В.Л., Пешков В.М. Подводные каньоны – их динамика и взаимодействие с береговой зоной океана. – М.: Изд-во ВНИРО, 2001. – 197 с.
7. Космические исследования Мирового океана средствами дистанционного зондирования. Поля и явления Мирового океана, исследуемые дистанционными методами // Седьмой Интернет-семинар Межуниверситетского аэрокосмического центра, 2005. <http://www.geogr.msu.ru/science/aero>
8. Харитонова Л.В., Фомин В.В. Статистические характеристики ветрового волнения в прибрежной зоне Западного Крыма по данным ретроспективных расчетов за 1979-2010 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2012. – вып. 26, т. 1. – С. 24-33.
9. Мысливец В.И., Кортаев В.Н., Зверев А.С., Федин М.В., Федин М.М. К геоморфологии дна Севастопольской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2011. – вып. 25, т. 1. – С. 104-110.
10. Пасынков А.А., Тихоненко Э.П., Тихоненкова Е.Г. Методика и технология экологического мониторинга геологической среды акватории Черного моря в районе Донузлавского лимана // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2012. – вып. 26, т. 1. – С. 58-62.
11. Зенкович В.П. Морфология и динамика советских берегов Черного моря. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 215 с.

Материал поступил в редакцию 28.05.2016 г.
После доработки 08.06.2016 г.

L. V. Kharitonova

**NEGATIVE FORMS OF BOTTOM RELIEF OFF THE COAST
OF WESTERN CRIMEA**

Using the high-resolution digital model of bottom relief the morphometric parameters of the western coast of Crimea relief are analyzed. The features of the main morphological structures are determined; it allowed completing the available information about underwater erosion forms near the Crimean coast. According to the bottom relief peculiarities along the western Crimea coast four pools of local accumulation are selected, namely: Karkinitzky, Donuzlav, Yevpatory and Sevastopol. The conclusion is that the opposite of almost all water-currents and land bars, as well as on the submarine continuation of beams, forming estuaries, are located sandy lowering and chanals, reaching out to shallow water from the upper reaches of the canyons. The received results are confirmed by the high-resolution satellite images.

KEYWORDS: the Black Sea, bottom relief, submarine canyons, coastal zone, satellite image