

1.4. Подводные каньоны Мзымты и Шахе: морфология, литодинамические процессы

Е.А. Глазырин, В.Л. Мараев

Введение

Подводные каньоны рассматриваются как основные геоморфологические особенности континентальной окраины и как каналы передачи осадков из при-брежных и шельфовых зон в котловины морей [Shepard, Dill, 1966; Сафьянов и др., 2001].

Основные сведения о батиметрии, морфологии дна и особенностях распределения донных осадков Российского сектора Черного моря получены ГНЦ «Юж-моргеология» (ныне АО «Южморгеология») в 1996–1998 гг. в результате съемки многолучевым эхолотом Simrad EM-12 на НИС «Геленджик» (рис. 1.4.1). Из наи-более крупных подводных каньонов здесь выделены Анапский, Голубого Пото-ка (Вуланский), Шахе и Мзымты [Андреев, Шельтинг, 2007]. Среди них каньоны

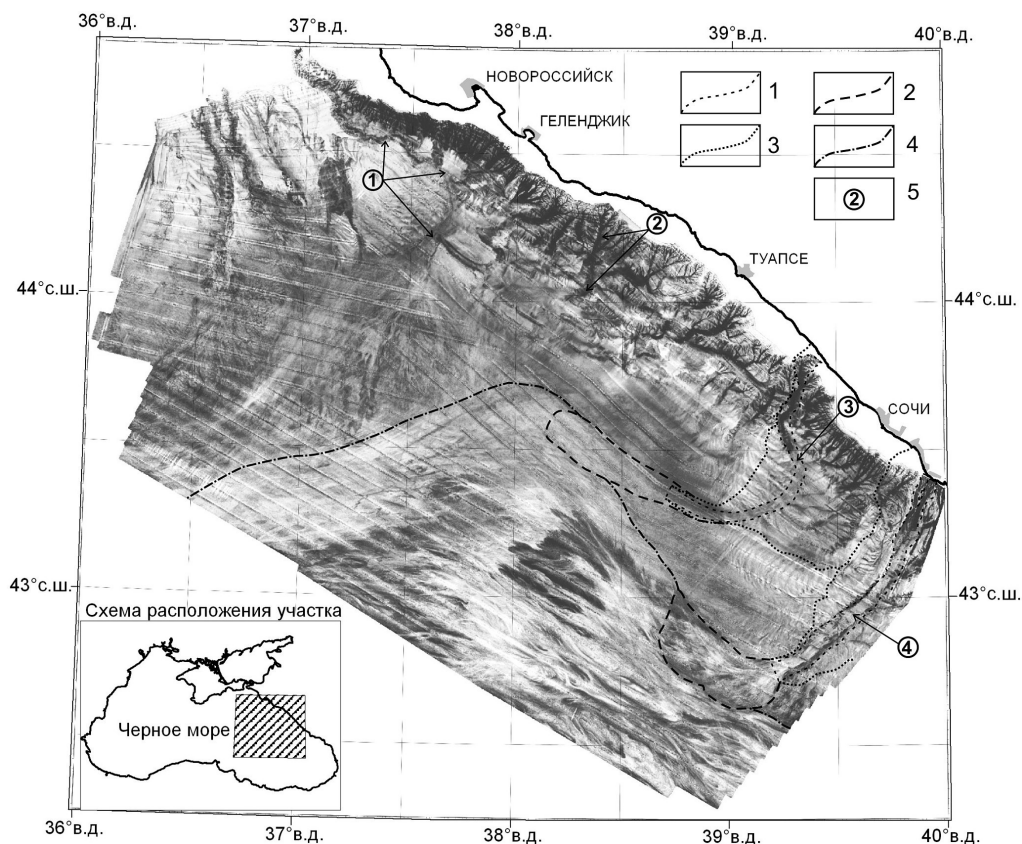


Рис. 1.4.1. Сонарное изображение (отраженный акустический сигнал) морского дна Черного моря, полученное многолучевым эхолотом SIMRAD EM-12.

1 – граница каньона; 2 – граница конуса выноса каньона; 3 – граница подводного бассейна каньона; 4 – граница шлейфа разноса донных осадков; 5 – каньоны: 1 – Анапский, 2 – Голубого Потока (Вуланский), 3 – Шахе, 4 – Мзымты.

Шахе и Мзымты являются наиболее крупными и активными. Их верховья глубоко врезаются в шельф, а протяженное днище врезано в континентальный склон и подножье с формированием обширных плоских конусов выноса протягивающихся в абиссальную равнину с обширными шлейфами разноса донными течениями.

Исходные материалы и методы исследований

Базой служат материалы, полученные АО «Южморгеология» при съемке многолучевым эхолотом Simrad EM-12, государственном геологическом картирова-

нии масштаба 1:200 000 листов К-37-IV, К-37-X и К-37-XVI [Государственная..., 2000, 2015] и государственном мониторинге состояния недр прибрежно-шельфовой зоны. Эти работы включали широкий комплекс методов: низко- и высокочастотное сейсмоакустическое профилирование, гидролокацию бокового обзора, эхолотирование, подводное фототелевизионное обследование до глубин 120 м, отбор проб донных отложений драгами, дночерпателями и грунтовыми трубками. Масштаб исследований соответствует 1:200 000 с детализацией до 1:25 000 и крупнее в вершинных частях каньонов.

Использованы также опубликованные материалы, среди которых следует выделить детальные исследования верхней части каньона Мзымты (до глубин 200 м) коллектива авторов [Имеретинская..., 2011; Ярославцев и др., 2016], проведенных в рамках инженерных изысканий под олимпийские объекты «Сочи-2014». Ими также использованы и обобщены материалы первых прямых визуальных наблюдений за рельефом, морфологией и строением подводных каньонов, выполненных в 1974 г. [Зенкович, 1976] на глубинах до 300 м и более, осмотровых водолазных погружений до глубин 30–35 м, а также ранее проведенных геологических исследований.

Каньонные системы Шахе и Мзымты

Каньоны Шахе и Мзымты тесным образом связаны с сухопутными бассейнами денудации и поставкой твердого стока крупнейших рек Черноморского побережья РФ, а также более мелких рек. Эти каньоны расположены напротив устьев крупных рек, соответственно, Шахе и Мзымта, и являются их продолжением (рис. 1.4.2). Головные части каньонов унаследованно врезаются в погребенные долины этих рек, абрадируя авандельтовые отложения.

Относительно более хорошо изучен каньон Мзымты. Головная часть этого каньона врежется в дельтовые отложения рек Мзымты и Псоу мощностью до 100 м и более [Имеретинская..., 2011].

Согласно исследованиям [Государственная..., 2000, 2015], начало формирования современных каньонов Шахе и Мзымты датируется поздним плейстоценом. Осадочная структура и морфология каньонов свидетельствует о циклическом характере эрозии, сопровождаемом частичной засыпкой, а затем воссоздана современными каньонами. На континентальном склоне и его подножии по каньонам обнажены коренные глины верхнего плиоцена – нижнего неоплейстоцена. В ряде случаев русло каньона Шахе прорезает четвертичный покров до палеоценовых отложений.

Глубина вреза каньонов – в среднем до 400 м и более при ширине собственно долины до 8 км. Поперечное сечение каньонов V-образное, U-образное и корытообразное с расширением и выполаживанием вниз по течению. Все каньоны испытывают разворот русел на запад вниз по течению (см. рис. 1.4.1).

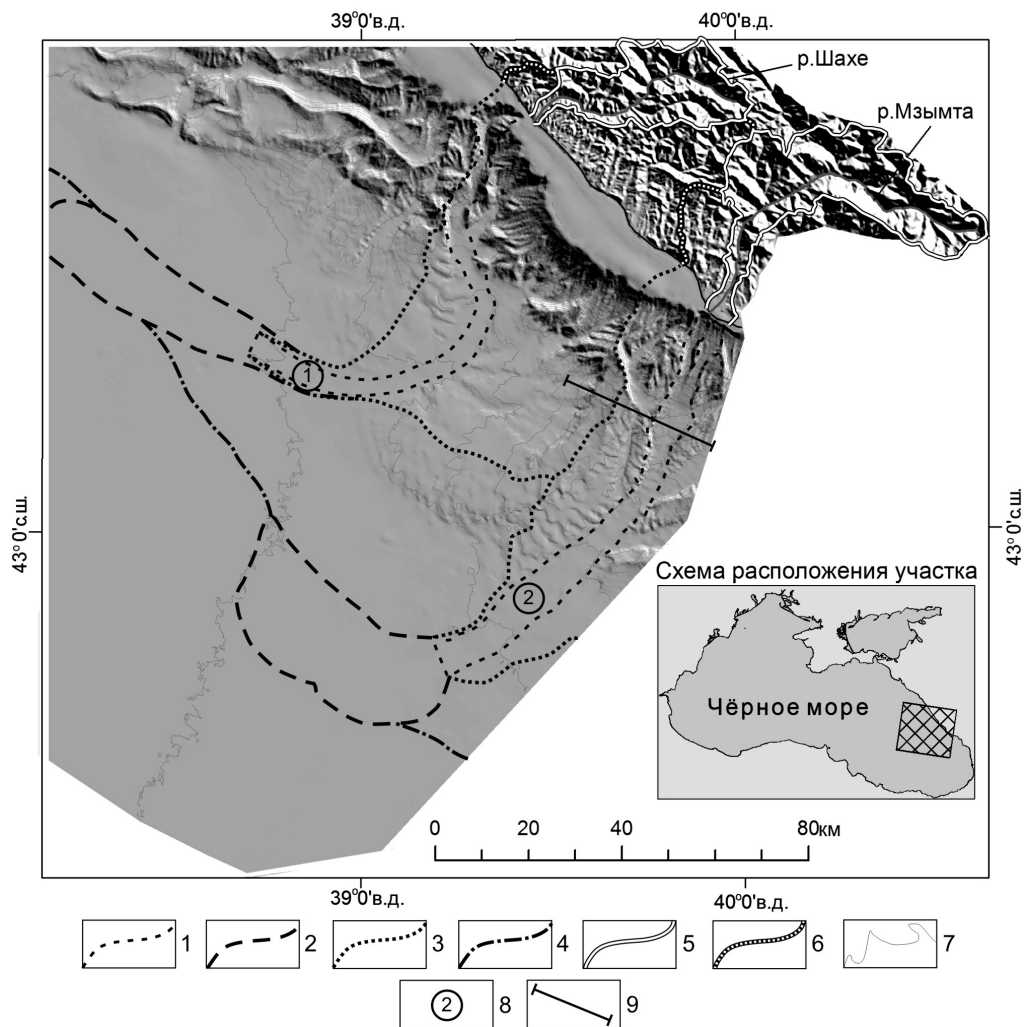


Рис. 1.4.2. Каньонные системы Шахе и Мзымты. Свето-теневой рельеф, основанный на данных многолучевого эхолотирования SIMRAD EM-12.

1 – граница каньона; 2 – граница конуса выноса каньона; 3 – граница подводного бассейна каньона; 4 – граница шлейфа разноса донных осадков; 5 – бассейн денудации рек Шахе и Мзымты; 6 – бассейн денудации суши; 7 – изобаты, через 100 м; 8 – каньоны: 1 – Шахе, 2 – Мзымты; 9 – линия геоакустического разреза.

Длина бассейна денудации реки Мзымты составляет около 83 км с превышением 3 км. Длина бассейна денудации реки Шахе составляет порядка 55 км с превышением 2,9 км.

Сопряженные сухопутные бассейны денудации (бассейны рек) и бассейны подводных каньонов, таким образом, создают более крупные денудационно-литодинамические каньонные системы (Шахе и Мзымты).

Денудационно-литодинамическая каньонная система Шахе без конуса выноса протягивается по тальвегу на расстояние около 140 км с превышением 5 км.

Денудационно-литодинамическая каньонная система Мзымты без конуса выноса протягивается на 178 км с превышением 5,1 км.

О масштабе денудационно-литодинамических каньонных систем Шахе и Мзымты можно судить по их площадным параметрам, где система Мзымты превышает систему Шахе по всем показателям (табл. 1.4.1).

О параметрах этих систем также можно судить по величине твердого стока наиболее значимых рек [Jaoshvili, 2002], направляемого в подводные бассейны каньонов Шахе и Мзымты (табл. 1.4.2). Так, к головной части каньона Шахе выносятся одноименной рекой порядка 79 тыс. м³/год терригенного материала, а в головную часть каньона Мзымты реками Мзымта и Псоу поставляется порядка 150 тыс. м³/год. С учетом современного перенаправления Имеретинским портом вдольберегового потока наносов в каньон Мзымты, а также поставки реками с абхазского сектора Черного моря транзит терригенного материала в каньон Мзымты значительно больше. Таким образом, каньоны Шахе и Мзымты обеспечивают эффективную

Таблица 1.4.1

Площадные параметры денудационно-литодинамических каньонных систем

Параметр каньонной системы	Площадь, тыс. км ²
Денудационно-литодинамическая каньонная система Шахе	
Общая площадь, в том числе:	5,31
- каньон Шахе	0,46
- подводный бассейн каньона Шахе (без площади каньона)	2,68
- конус выноса каньона Шахе	0,86
Итого морская часть системы Шахе	4,00
- бассейн денудации реки Шахе	0,55
- бассейн денудации суши без реки Шахе	0,75
Итого сухопутный бассейн денудации	1,30
Денудационно-литодинамическая каньонная система Мзымты	
Общая площадь, в том числе:	8,75
- каньон Мзымты	0,63
- подводный бассейн каньона Мзымты (без площади каньона)	3,22
- конус выноса каньона Мзымты	0,97
Итого морская часть системы Мзымты	4,83
- бассейн денудации реки Мзымты	0,91
- бассейн денудации суши без реки Мзымты	3,01
Итого сухопутный бассейн денудации	3,92

Таблица 1.4.2

**Твердый сток рек по [Jaoshvili, 2002] в бассейны подводных каньонов
Шахе и Мзымты, в тыс. м³/год**

Река	Твердый сток		
	общий	в береговые наносы	в морские наносы
Бассейн каньона Шахе			
Шахе	124	45,0	79,0
Дагомыс	24,7	8,0	16,7
Сочи	59,5	20,0	39,5
Бассейн каньона Мзымты			
Мацеста	17,4	6,0	11,4
Хоста	18,5	8,0	10,5
Кудепста	21,2	6,0	15,2
Мзымта	158	60,0	98,0
Псоу	90,8	38,0	52,8
Хашупсе	46,0	23,8	22,2
Жове-Квара	30,7	15,3	15,4
Бзыбь	445,0	133,0	312,0
Мчишта	11,7	2,2	9,5
Хипста	19,7	11,0	8,7

транспортировку большого объема терригенного материала в котловину Черного моря и играют важную рельефообразующую и литодинамическую роль.

По данным сейсмоакустического и гидролокационного профилирования [Государственная..., 2000, 2015], водораздельные части каньонов Шахе и Мзымты поражены верхнелепестово-голоценовыми оползнями с погребенными оползневыми телами нижнечаудинского и верхнеоплеистоценового возрастов. Оползание сопровождается многочисленными разрывами сплошности. На площади выделено несколько оползневых тел. Длина наибольшего из них около 70 км, средняя ширина – 20 км, площадь 1400 км². Оно занимает водораздельное пространство между каньонами в нижней части континентального склона. Оползневые тела образуют волнисто-грядовый рельеф морского дна, хорошо видный на акустическом изображении (см. рис. 1.4.1). Высота гряд составляет от 10 до 30 м, ширина – от 0,5 до 1,5 км, длина до 7 км [Государственная..., 2015].

Морфология каньона Шахе

Головная часть каньона Шахе изогнутым клином вдаётся в шельфовую часть на 8 км. Ширина вреза составляет до 8 км, а глубина до 700 м. Каньон веерообразно разветвляется на ряд более мелких боковых врезов, которые, в свою очередь,

также распадаются на ряд еще более мелких врезов. Поперечный профиль каньона и его соподчиненных врезов здесь имеет V-образное сечение. Верхняя кромка каньона на шельфе – абразионно-эрозионная граница шельфа, и, соответственно, активного развития опасных абразионно-эрозионных и декливиальных процессов продвинута с глубины 100 м до 20 м. Вершина каньона располагается в 1,5 км от берега и в 2,6 км от устья реки Шахе как границы сопряженного бассейна денудации (рис. 1.4.3).

Длина наиболее врезанной верхней части подводного каньона Шахе составляет около 50 км с перепадом высот 1,9 км. С глубины 1250–1300 м днище каньона приобретает U-образный профиль шириной около 1 км.

С глубины около 1700 м днище каньона выполаживается и приобретает плоскую корытообразную форму шириной 2,6–3,8 км. С левого борта к нему причленяются боковые каньоны. Днище каньона активно поражено оползневymi телами.

С изобаты 1825 м с правого борта русло каньона подпирается крупным оползневым телом, разбитым последовательно на ступени все более мелких блоков (см. рис. 1.4.1, 1.4.2). Наиболее крупные ступени хорошо выражены в рельефе в виде параллельных, ориентированных параллельно изобатам и дугообразно выгнутых

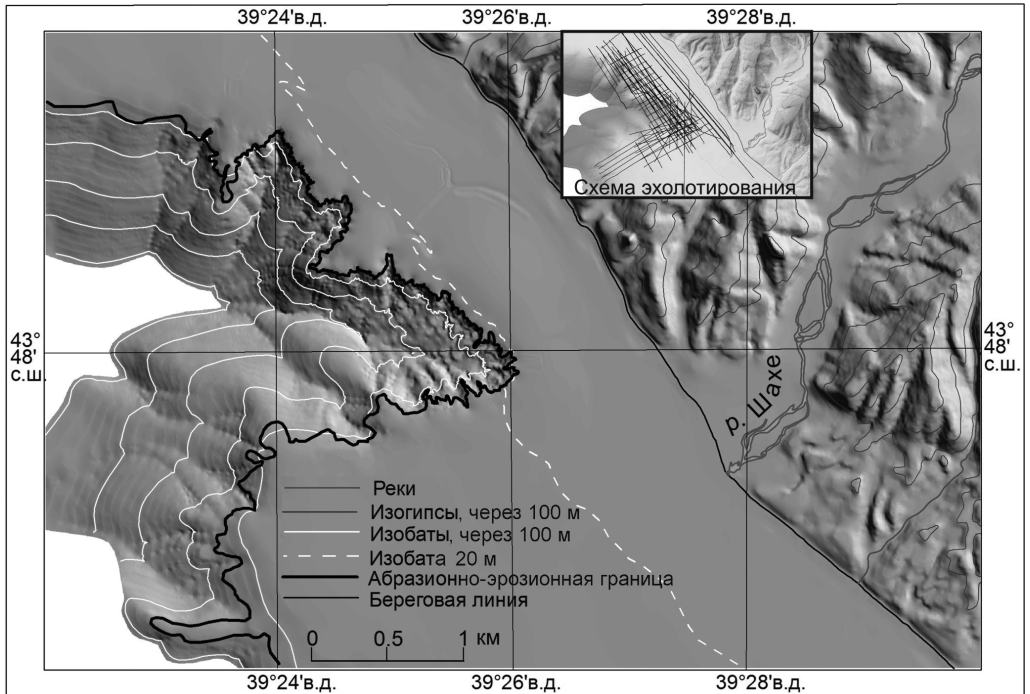


Рис. 1.4.3. Морфология вершинной части каньона Шахе. Свето-теневой рельеф, основанный на профильном эхолотировании и картах рельефа масштаба 1:100 000.

вниз по рельефу валов выпирания шириной 1–5 км. Русло каньона огибает оползневой блок.

Днище каньона с изобаты около 1900 м выполаживается еще больше, а его профиль становится широким V-образным. Каньон выражен менее контрастно, на гидроакустическом изображении он уже выглядит менее активным (см. рис. 1.4.1) и переориентируется с юго-восточного простирания на юго-западное и далее на западное. Он наращивается вниз по склону преимущественно за счет впадения каньонов левого борта, имеющих широкое V-образное сечение. В результате каньон Шахе продолжается до глубины 2050–2100 м с постепенным переходом в широкий плоский конус выноса. Ширина днища каньона здесь составляет 5 км и в интервале глубин 2075–2100 м окаймляется краевыми валами шириной до 1–2 км на протяжении около 20 км.

Конус выноса не имеет четких границ и ориентирован в северо-западном направлении. Длина его составляет не мене 50 км (см. рис. 1.4.2) с дальнейшим перераспределением донных осадков донными течениями в виде вытянутого шлейфа по котловине, где акустическое изображение дна имеет струйчатое строение с огибанием лопастей конуса выноса каньона Анапского и Голубого Потока (см. рис. 1.4.1).

Таким образом, общая длина каньона Шахе без конечной лопасти конуса выноса составляет около 85 км с перепадом высот 2,05 км.

Морфология каньона Мзымты

Длина подводного каньона Мзымты без лопасти конуса выноса составляет 95 км с перепадом высот 2,1 км (см. рис. 1.4.2). С восточной стороны в собственно каньон Мзымты впадают каньоны абхазского сектора Черного моря, рассматриваемые как составная часть данного каньона и также имеющие сопряженные с ними бассейны денудации крупных рек. Отсутствие полной картины не позволяет нам охарактеризовать абхазскую площадь бассейна каньона Мзымты.

В верхней части каньон Мзымты разветвляется на каньон Мзымтинский и Псоу, разделяемые подводным Константиновским мысом. Они, в свою очередь, распадаются на веер более мелких каньонов, активно врезающихся в кромку шельфа (рис. 1.4.4). Эти каньоны имеют самостоятельное название, они врезаются в верхнечетвертичную аллювиально-морскую террасу мощностью до 100 м [Имеретинская..., 2011]. Глубина эрозионного вреза этих каньонов по тальвегу достигает 100–150 м.

В свою очередь, эти мелкие каньоны также имеют ряд соподчиненных ответвлений. В поперечном сечении они имеют узкие V- и U-образные профили до щелевидных с вертикальными и местами отрицательными стенками (рис. 1.4.5). Ответвления развиваются вдоль вертикальных трещин, по которым часто устанавливается разгрузка подрусловых вод.

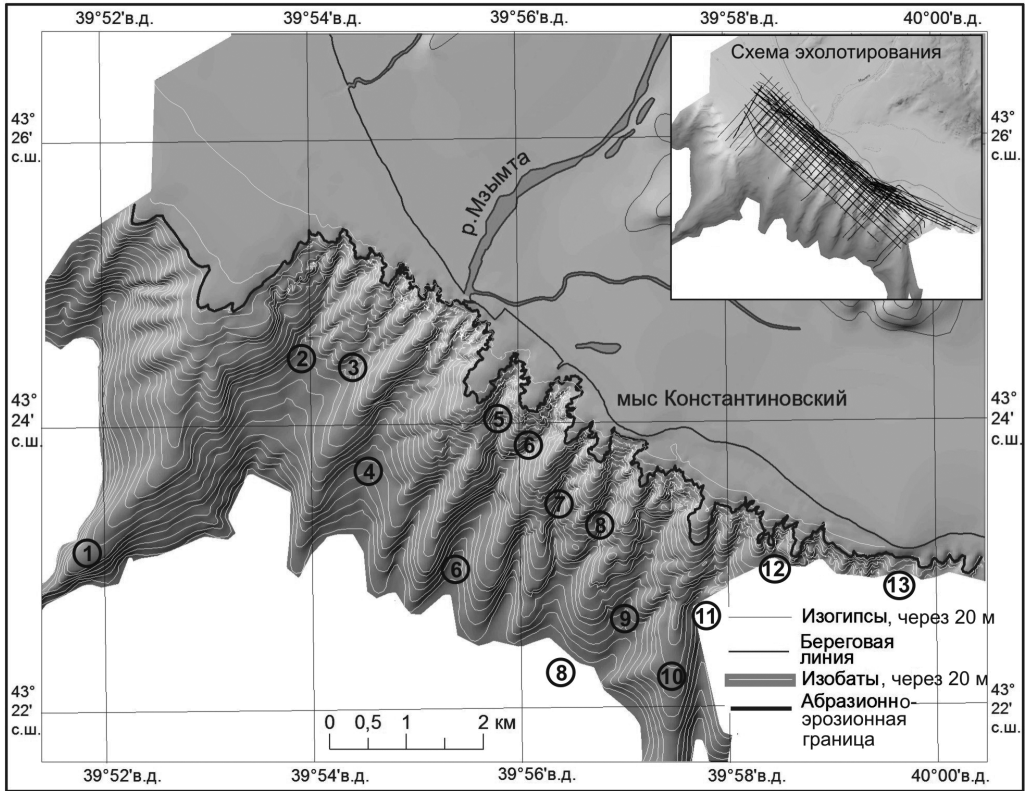


Рис. 1.4.4. Морфология вершинной части каньона Мзымты. Свето-теневой рельеф, основанный на профильном эхолотировании и картах рельефа масштаба 1:100 000. Цифры в кружках: 1 – подводный Адлерский мыс, 2 – каньон Мзымтинский западный, 3 – каньон Мзымтинский центральный; 4 – каньон Мзымтинский восточный, 5 – каньон Кальмар, 6 – каньон Новый, 7 – каньон Константиновский западный, 8 – каньон Константиновский, 9 – каньон Константиновский восточный, 10 – подводный Константиновский мыс, 11 – каньон Некрасовский, 12 – каньон Цимлянский, 13 – каньон Имеретинский.

Морфология склона и бортов этих каньонов определяется слоистым строением аллювиально-морской террасы (рис. 1.4.6), характеризуется чередованием плоских и субвертикальных участков, отчего рельеф имеет ярко выраженное ступенчатое строение. Вертикальные участки и ниши образованы выходами относительно легко вымываемых и осыпающихся валуников, галечников и песков, а плоские участки и карнизы сложены более устойчивыми бронирующими связными грунтами – лиманными глинами, суглинками. Высота вертикальных уступов достигает нескольких десятков метров. Останцовые хребты между отвесками каньонов острые, гребневидные.

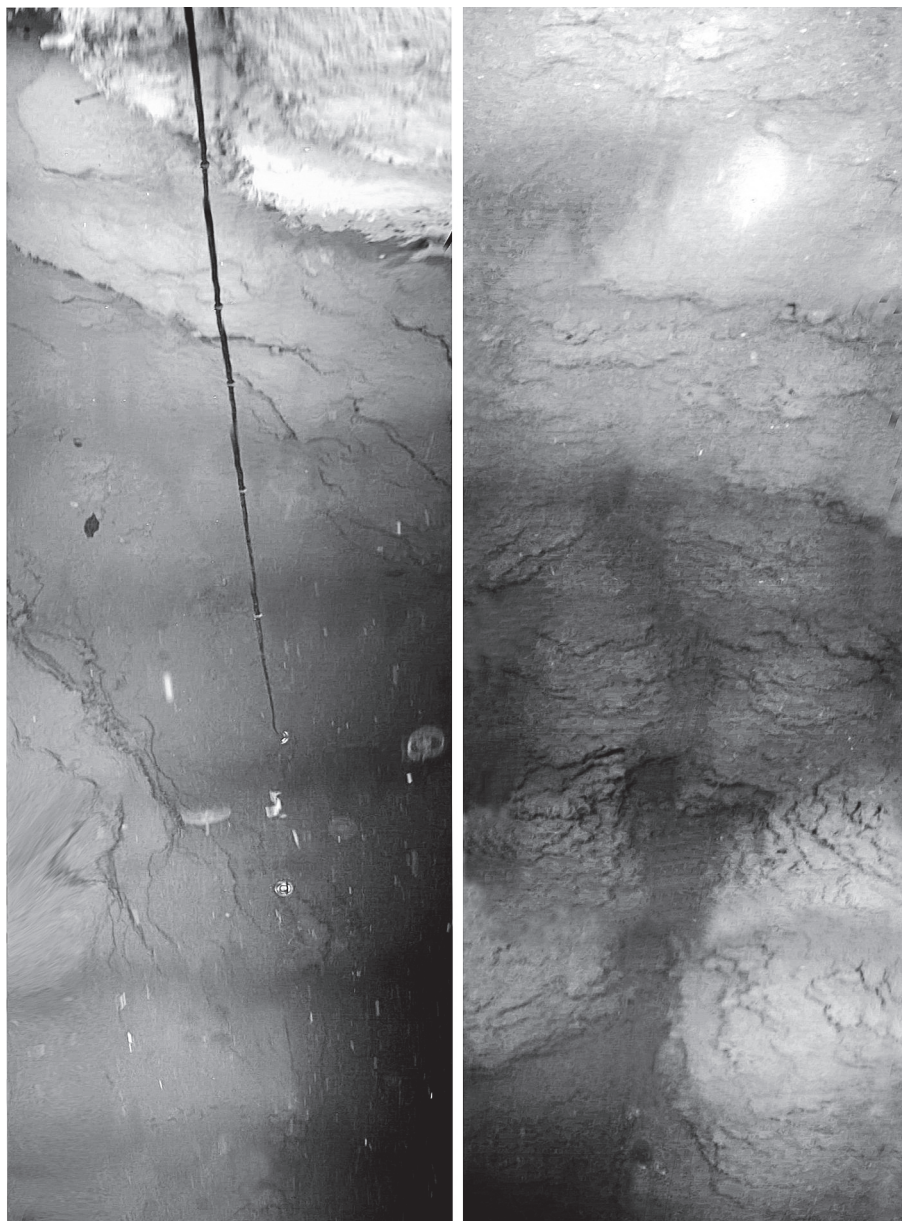


Рис. 1.4.5. Морфология ответвлений каньонов вершинной части каньона Мзымты. Левый фрагмент – вертикальные стенки с нависающими карнизами, гайдроп на тросе. Правый фрагмент – вертикальные врезы с нишами в галечниках. Сшивка видеок кадров, ширина 3 м.

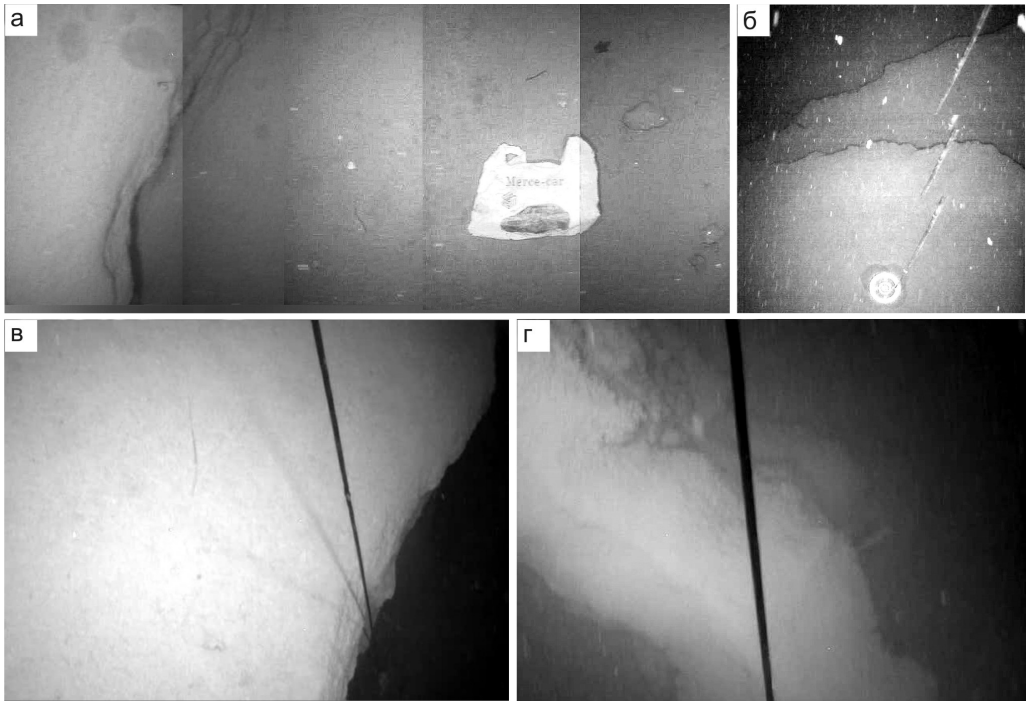


Рис. 1.4.6. Морфология склона вершинной части каньона Мзымты: а – ступень с нишей и горизонтальная площадка с пластиковым пакетом и осыпавшимся песчано-галечным материалом; б – ступенчатый склон; в – нависающий глиняный карниз над вертикальной стенкой; г – останцовый хребет. Сшивка видеокadres (а, б) и видеокadры, гайдроп на тросе, ширина кадres 3 м.

В отличие от каньона Шахе, вершинная часть каньона Мзымты (включая каньон Псоу) в генеральном плане имеет плоский фронт (см. рис. 1.4.2). Форма же вершинных частей мелких каньонов в плане варьирует от клиновидной (каньон Константиновский западный), через закругленную (каньон Новый) до раструбной (каньон Константиновский). Клиновидные каньоны имеют V-образный профиль и свойственны каньонам, где преобладает продвижение в вершинной части. Каньоны раструбной формы имеют корытообразный профиль с небольшой выгнутостью вверх, а закругленной формы – промежуточный. Эти формы представляют собой эволюцию их развития, где форма раструба является предельной. Такая форма образуется, когда продвижение вершины каньона упирается в берег и блокируется им. С боков раструб ограничивается наиболее активными эрозионными врезами, которые совместно с расположенными между ними более мелкими врезами сближаются вниз по склону и встречаются в ущелье. Как показали ис-

следования [Mazières et al., 2014], развитие каньонов такого типа происходит за счет расширения их головной части в бока, а фронтальная граница подчиняется береговой и остается стабильной. То есть каньон растет уже не в головной части, а в боковой с расширением раструба. Головная часть каньона действует как буфер осадков, что захватывает вдольбереговое движение наносов и направляет их вниз по каньону. У промежуточной формы каньона рост головной части и боковой примерно равен.

Рассматривая головную часть каньона Мзымты в целом, ее следует отнести к последней, предельной, форме развития, а каньон Шахе – к первой (клиновидной).

Система Мзымтинского каньона (западный, центральный и восточный) практически формирует общий изрезанный абразионно-эрозионный фронт шириной 2,75 км с врезанием в шельф на 1–1,5 км. Слияние западного и центрального Мзымтинского каньонов происходит на глубине 380 м с образованием выположенного расширения, служащего промежуточным накоплением сносимого материала. Слияние с каньоном Мзымтинским восточным происходит на глубине около 700 м, и долина Мзымтинского каньона приобретает хорошо выраженную корытообразную форму с шириной по днищу 1,35 км, сужаясь ниже по континентальному склону до 1 км. С глубины 1150 м долина Мзымтинского каньона приобретает U-образную форму.

Каньоны Новый и Кальмар объединяются в каньон Новый на глубине около 300 м. Ширина эрозионных врезов их вершин составляет около 350 м с врезанием в шельф на расстояние до 750 м.

Каньон Константиновский западный имеет ширину головной части в 250 м и вдается в шельф на 450 м. Головная часть каньона Константиновский имеет расширяющийся фронт в виде раструба шириной в 470 м, суживаясь от берега до 320 м. Он практически вплотную подходит к берегу, вдаваясь в шельф на расстояние в среднем 500 м. Каньон Константиновский восточный имеет расширенную головную часть в 700 м. Сливаются они на глубине 440 м.

Каньоны Новый и Константиновский объединяются на глубине порядка 900–925 м, где долина становится корытообразной, шириной до 1 км. Долина каньона Новый по сравнению с Константиновским обладает наиболее углубленным днищем, что свидетельствует в пользу его более высокой литодинамической активности.

Мзымтинский и объединенный Константиновский каньоны сливаются на глубине около 1400 м, где днище каньона Мзымты становится шириной около 5 км и приобретает выраженную корытообразную форму.

На глубине 1500–1600 м с востока к объединенному каньону Мзымты причленяется корытообразная долина ответвления от каньона Псоу шириной 1,7 км.

На изобате 1500 м с западной части к каньону Мзымты примыкает всячая долина каньона правого борта с превышением около 125 м (см. рис. 1.4.2). Форма долины корытообразная с шириной днища до 2,25 км. Вверх по рельефу данный каньон разветвляется на широкий веер более мелких каньонов, заканчивающихся

своими вершинами на изобатах 125–50 м напротив стока рек Мацеста, Хоста, Кудепста. Частично сток висячей долины перенаправлен вниз параллельно каньону Мзымты вдоль границ отрыва оползневых блоков (рис. 1.4.7) и сливается с ним на глубине около 1800 м, где также имеет висячий характер с превышением до 75 м. Наличие висячих долин свидетельствует о циклической эволюции каньонной системы. Данный каньон своей вершиной выходит на шельф западнее подводного Адлерского мыса.

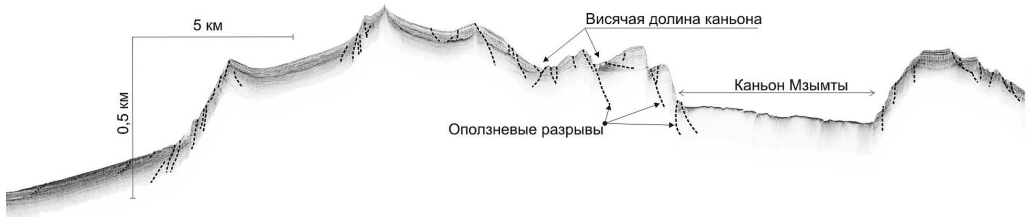


Рис. 1.4.7. Поперечный геоакустический разрез через каньон Мзымты с висячей долиной. Положение разреза дано на рис. 1.4.2.

С глубины около 1450 м в днище каньона Мзымты устанавливаются характерные поперечные выпуклости оползневых тел. На глубине 1750–1800 м с востока к каньону причленяется корытообразная долина собственно каньона Псоу шириной от 3,5 до 4,8 км. Еще ниже, на глубине 1875–1900 м, с востока примыкает корытообразная долина Пицундского каньона шириной от 2,75 до 3,75 км.

Далее каньон Мзымты имеет расширенную корытообразную долину шириной до 5,5 км. На изобате около 2025 м корытообразная долина переходит в плоский конус выноса шириной до 28 км и длиной около 55 км. С глубины 2100 м конус выноса переходит в шлейф разноса донными течениями (контуриты).

На глубине 2050–2075 м к конусу выноса каньона Мзымты с востока подходит и слегка огибает его шлейф контуритов от конусов выноса каньонов абхазского и грузинского сектора Черного моря. С глубины 2100 м это уже два интерферирующих шлейфа с превалированием более мощного восточного и частичным перекрытием им мзымтинского. Оба шлейфа на глубине 2100 м ориентируются на северо-запад. Они объединяются со шлейфом от конуса выноса каньона Шахе, а затем с изобаты 2125 м поворачивают на запад, оконтуривая котловину Черного моря в виде контурного течения.

Литодинамические процессы каньона Шахе

По сравнению с каньоном Мзымты перехват вдольберегового переноса грубозернистых осадков головной частью каньона Шахе проявлен в меньшей степени, так как она расположена несколько глубже и дальше от берега. На фронте

продвижения каньона скапливается терригенный материал выноса реки Шахе преимущественно алевропесчаной размерности, обогащаемый автохтонным раковинным материалом. С глубин около 20 м в составе осадков постепенно повышается роль пелитового материала. По мере накопления осадков в результате потери гравитационной устойчивости и их оползания на выположенных участках склонов повсеместно развиты небольшие, но частые декливиальные шлейфы и конусы выноса. В составе декливиальных шлейфов присутствует пластиковый мусор и фрагменты наземных растений, выносимых с бассейна денудации. В результате постоянного гравитационного схода донных осадков склоны каньона нередко имеют желобчатое строение (рис. 1.4.8).

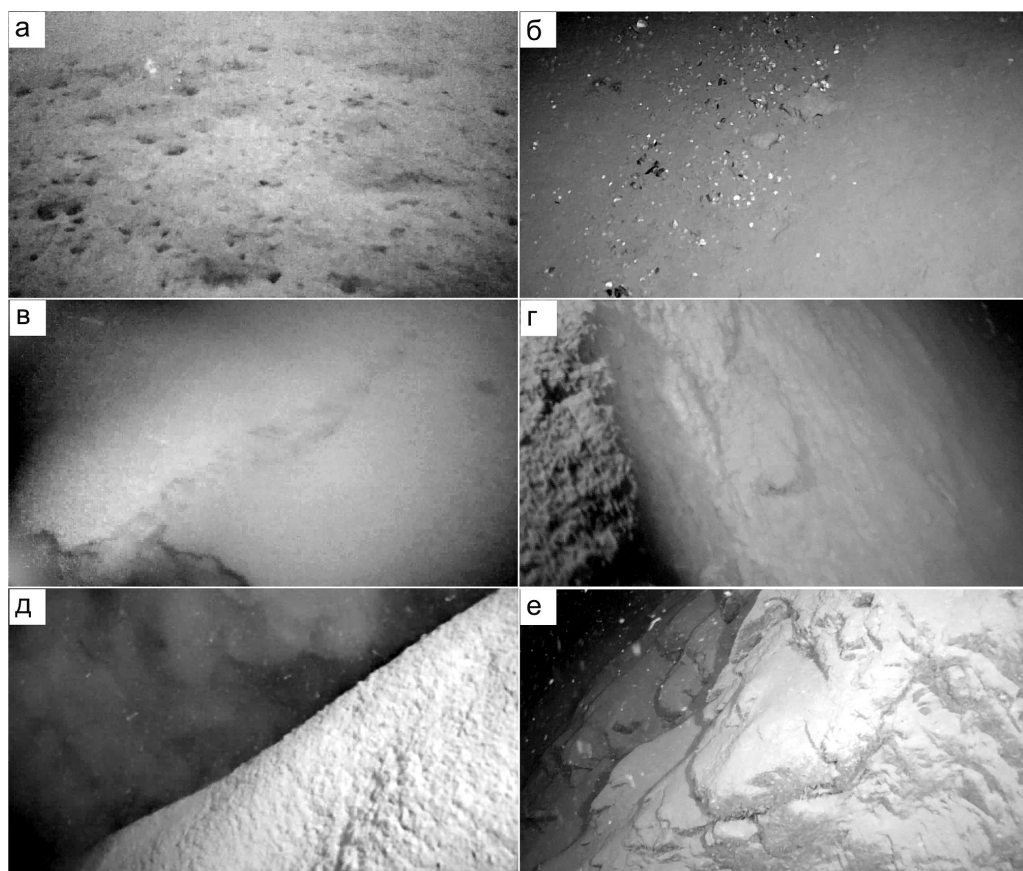


Рис. 1.4.8. Литодинамические проявления каньона Шахе: а – аккумуляция терригенного материала выноса реки Шахе на бровке шельфа; б – декливиальный шлейф с раковинным материалом; в – трещина отрыва оползня; г – свежее зеркало схода оползня; д – нефеллоидный материал на склоне каньона и поднятие взмучивания по ложбине от его схода; е – коренные карбонатные породы палеогена в бортах каньона с трещинами откола.

На склонах каньона преимущественно выпуклого профиля широко развиты оползневые процессы различной интенсивности – от частых малообъемных оплывин и оползаний до площадных оползней с выраженными зеркалами скольжения и трещинами отрыва (см. рис. 1.4.8). Гидролокацией бокового обзора зафиксированы оползни шириной от первых десятков метров до 230 м и протяженностью 20–60 м.

Скольжение нелитифицированных масс вниз по все более крутому склону, по данным видеонаблюдений, приводит к преобразованию оползней в турбидитные потоки.

На более глубоких уровнях (более 50 м), куда ундафлювиальный материал практически уже не поступает, крутые склоны каньона интенсивно припорошены тонким хлопьевидным нефелоидным материалом. При достижении предела гравитационной устойчивости здесь также фиксируются частые срывы такого осадка с формированием протяженных полей взмучивания и мутьевых потоков по ложбинам (см. рис. 1.4.8).

На крутых склонах и на глубинах свыше 70–100 м в бортах каньона обнажаются коренные терригенные и карбонатные породы палеогена. Они имеют следы активного развития отколов по трещиноватости и тектоническим трещинам и обвальных процессов (см. рис. 1.4.8).

Подводными видеонаблюдениями в бортах и тальвегах каньона зафиксированы разгрузки подземных вод, приуроченные к тектоническим трещинам и терригенным коллекторам палеоцен-эоценового разреза.

Продвижение каньона Шахе к береговой линии протекает с различной скоростью вдоль его кромки. По данным ежегодной гидролокационной съемки, отдельные участки каньона за период 2011–2017 гг. продвинулись на несколько десятков метров, максимум до 136 м. Максимальные среднеголетние скорости продвижения границы абразии достигают 20 м/год. Они приурочены к северо-западной (правой) стороне головной части каньона. В основном же скорость продвижения абразионно-эрозионной границы каньона в шельфовой части составляет первые метры в год или она стабильна за счет компенсации поставкой осадочного материала с бассейна денудации р. Шахе.

В нижней части русла каньона, где оно выполаживается и профиль долины становится корытообразным, по данным батиметрии и гидролокации широко развито оползневое перемещение осадков, сгружаемых сюда через относительно более крутой интервал русла (зону транзита).

Литодинамические процессы каньона Мзымты

Литодинамические процессы изучены главным образом в вершинной части каньона Мзымты на основе прямых подводных наблюдений [Зенкович, 1976] и изысканий под олимпийские объекты «Сочи-2014» [Имеретинская..., 2011; Ярос-

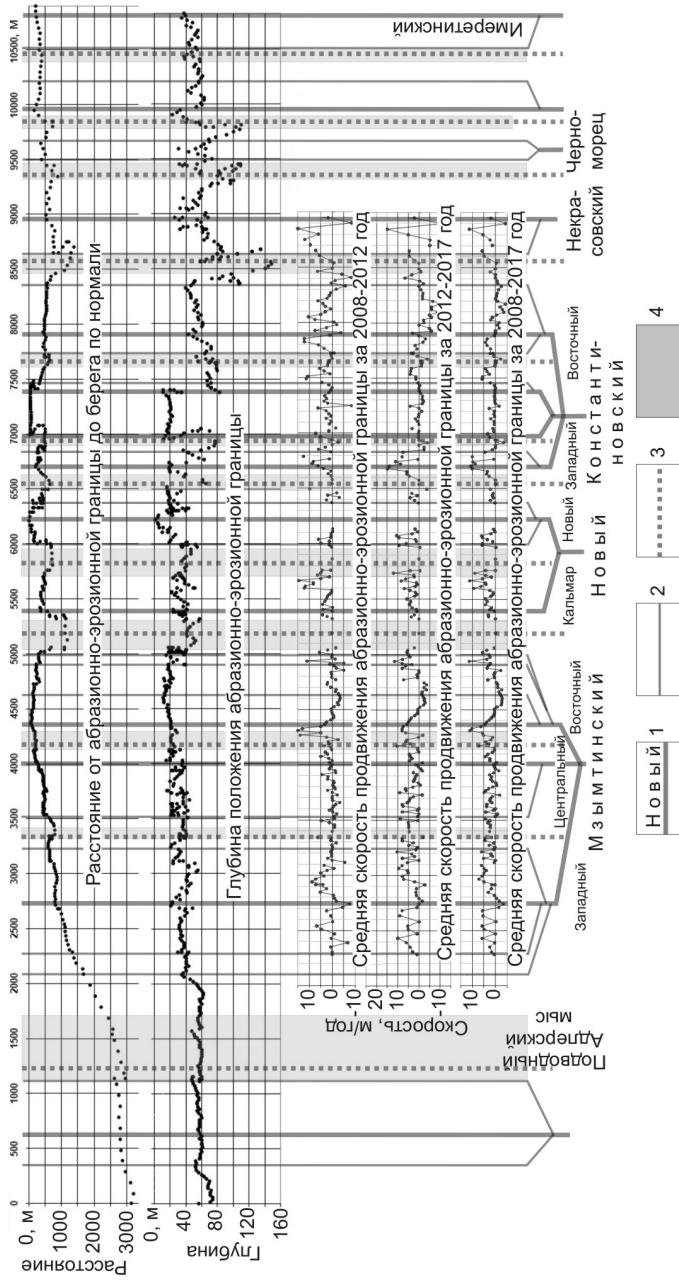


Рис. 1.4.9. Графики положения абразионно-эрозивной границы каньона Мзымты и средних скоростей ее продвижения в различные годы.

1 – тальвег каньона и его название; 2 – тальвеги боковых ответвлений каньонов; 3 – осевая часть межканьонных водоразделов; 4 – межканьонные водоразделы.

лавцев и др., 2011]. Этими исследованиями и работами АО «Южморгеология» установлено широкое и интенсивное развитие активных литодинамических процессов – аккумулятивных, абразионно-эрозионных, декливиальных (осыпных, обвальных, оползневых) и турбидитных. В результате этих процессов абразионно-эрозионная верхняя граница каньона Мзымты достаточно динамична. Она максимально приближена к береговой линии и продвинута на малые глубины, места практически вплотную к берегу. Максимально продвинуты к берегу каньоны Мзымтинский восточный, Новый и Константиновский (см. рис. 1.4.4; рис. 1.4.9).

Сравнение положения абразионно-эрозионной границы по материалам гидролокации бокового обзора за период 2008–2017 гг. показывает ее возвратно-ступенчатый характер при общем продвижении к берегу. Это связано с ее отступанием от берега при накоплении донных осадков и периодическим наступлением вследствие схода осадков вниз в каньоны. Это подтверждается более ранними исследованиями, выполненными при наблюдениях за движением берега и поверхности дна [Имеретинская..., 2011; Ярославцев и др., 2011, 2016]. Спускным механизмом схода накопившихся осадков служат достижение гравитационной неустойчивости, сейсмические толчки и штормовое воздействие.

Средняя скорость продвижения абразионно-эрозионной границы за 2008–2017 гг. на отрезке от каньона Мзымтинский западный до каньона Имеретинский составляет 2,0 м/год с вариациями от –4,2 до 11,3 м/год на отдельных участках (см. рис. 1.4.9). Подобные среднегодовые скорости продвижения каньонов соотносятся с ранее полученными [Имеретинская..., 2011; Ярославцев и др., 2016]. Годовые экстремумы скорости в отдельных точках достигают –34 и 60 м/год.

Максимальные скорости продвижения абразионно-эрозионной границы у большинства вершинных частей каньонов Мзымты фиксируются преимущественно не в осевой части каньонов, а в боковых (см. рис. 1.4.9). Это указывает на их рост преимущественно в боковых (фланговых) участках, с расширением фронта продвижения по мере приближения к берегу. Осевые же части каньонов зачастую относительно стабильны и даже могут периодически отступать за счет преобладания аккумуляции осадков. Лишь у клиновидных в плане каньонов максимальные скорости продвижения характерны для осевой части (например, каньон Константиновский западный). Таким образом, происходит выравнивание общего фронта продвижения каньона Мзымты, что свидетельствует о стремлении его формы к предельной.

Сравнение абразионно-эрозионной границы в плане (см. рис. 1.4.4) и графика расстояния абразионно-эрозионной границы по нормали к берегу (см. рис. 1.4.9) показывает менее изрезанный характер последнего. Некоторые каньоны на графике расстояния абразионно-эрозионной границы по нормали к берегу проявлены достаточно слабо, например каньоны Мзымтинский западный, Мзымтинский центральный, Мзымтинский восточный, Константиновский восточный. Такое различие показывает сопряженность положения берега и абразионно-эрозионной границы.

В поперечном сечении от берега к бровке шельфа располагается последовательность донных отложений, формирование которых происходит в различных литоди-

намических условиях. Часть из них может отсутствовать из-за приближения абразионно-эрозионной границы каньона.

Вдоль берега распространены чистые отмытые и отсортированные волноприбойной деятельностью галечники. Согласно исследованиям [Бровченко, Мадерич, 2011], донный материал (крупный гравий) разносится на расстояние до 3 км вдоль берега в обоих направлениях на протяжении одного шторма, в основном вдоль линии пятиметровой глубины, в то время как частицы на глубине 10 м испытывают смещение до 250 м. При этом Имеретинский порт блокирует перенос наносов.

На плоской субгоризонтальной и пологой части шельфа к галечникам прилегают алевропесчаные отложения со знаками ряби. Граница между ними часто резкая, где галечники налегают на алевропесчаные отложения. Это обусловлено массовой подсыпкой галечным материалом пляжей для их сохранения.

Алевропесчаные отложения содержат примесь ракуши и рассеянной гальки, гравия. Близ пляжевого галечника в песке присутствуют выраженные макроформы ряби шириной 20–30 см. Мористее на участках более широкого шельфа и плоских межканьонных водоразделов, где волновое воздействие ослаблено, присутствуют поля песчанистых алевритов с примесью раковин и биотурбированием осадков полихетами, моллюсками и ракообразными.

В пределах участков берего- и дноукрепительных отсыпок на дне находятся скопления плохо сортированного валунно-галечного материала, глыб скальных пород.

На участках очень узкого шельфа, где вершины каньонов в виде крутых ложбин максимально подходят к берегу и наклон дна равен или превышает угол устойчивости рыхлых отложений, зона галечников сразу переходит в расчлененную абразионно-эрозионную зону склона. Вдольбереговой поток пляжеобразующего галечного материала перехватывается каньонами, сгружается и рассеивается вниз по склону (рис. 1.4.10). Нередко глыбы отсыпки и крупная галька оставляют следы скольжения и борозд выпаживания на поверхности донных осадков.

Потеря пляжеобразующего материала в каньон Константиновский оценивается в 6–9 тыс. м³/год, в каньон Новый – 13 тыс. м³/год [Пешков, 2005].

В районе современной авандельты реки Мзымты дно покрыто толстым слоем выносимого рекой алевропелитового материала с фрагментами деревьев и антропогенным мусором. Интенсивное поступление пелитового материала подавляет развитие бентоса. За пределами и у границы этого шлейфа присутствует активно развивающийся бентос с колониями фильтрующих моллюсков, которые поставляют в донные осадки раковинный материал (см. рис. 1.4.10).

Разнос вдольбереговым течением алевропелитового шлейфа выноса реки Мзымты прослеживается до каньона Константиновский.

Пелитовый шлейф от реки Мзымты распространяется и на верхнюю часть континентального склона, где формирует кольматационную корку мощностью в первые сантиметры (см. рис. 1.4.10). Происхождение корки современное, так как ею зацементированы прислоненные к склону рыболовные сети и тросы.

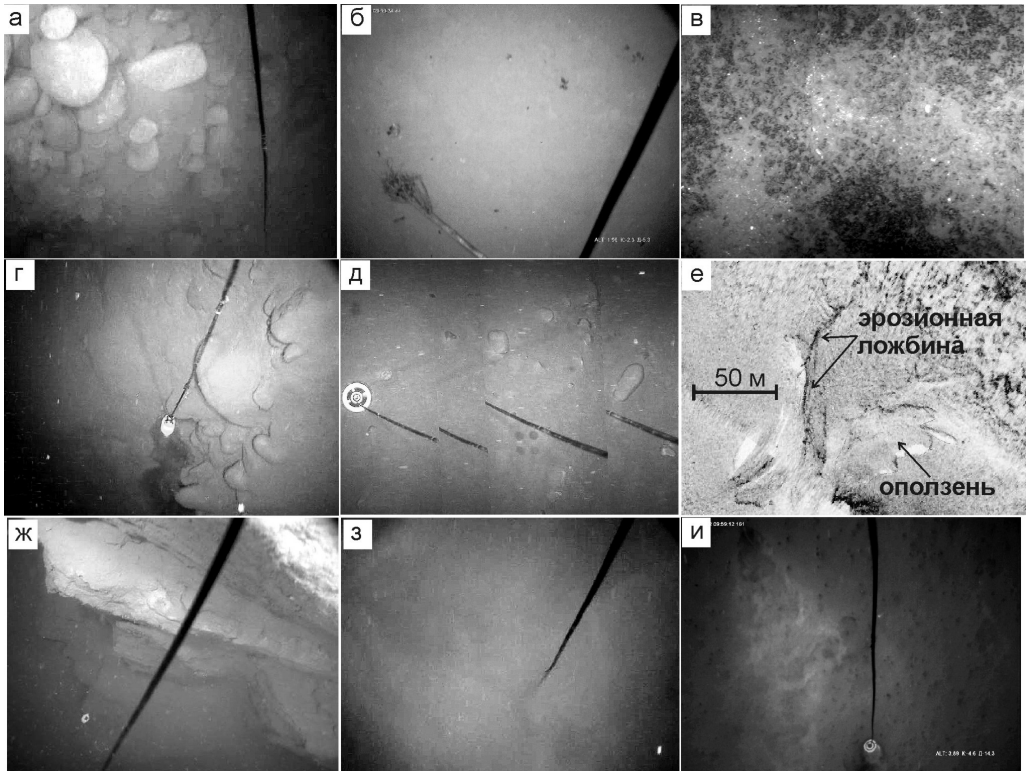


Рис. 1.4.10. Литодинамические проявления каньона Мзымты: а – сползание галечного материала пляжа по склону; б – алевропелитовый осадок с детритом растений выноса реки Мзымты; в – колонии фильтрующих моллюсков на периферии мутьевого выноса реки Мзымты; г – глиняная корка на стенке обнажающегося валунника; д – декливиальный шлейф миктитового донного осадка на склоне (коллаж видеок кадров); е – оползень и эрозийная ложбина на границе шельфа и склона каньона (гидролокационное изображение); ж – обнажение стенки лиманных глин с плоскостями отколов; з – прохождение троса с гайдропом через мутьевой поток; и – субмаринная разгрузка подземных вод через нарушение глинистой корки.

Сравнение результатов фототелевизионного осмотра 2012–2013 гг. с ранее проведенными исследованиями [Имеретинская..., 2011] свидетельствует об увеличении площади пелитового покрова и развития кольматажа. Возрастание доли пелитовой составляющей в поверхностном слое донных отложений и развитие кольматажа соотносится с относительным увеличением пелитовой составляющей в твердом стоке реки Мзымты на фоне уменьшения последнего. Это ранее устанавливалось многими исследованиями и связывается с антропогенными изменениями долины реки Мзымты, произошедшими в последние годы [Имеретинская..., 2011].

Устанавливаемые изменения носят двоякий характер. С одной стороны, пелитовый поток подавляет раковинный бентос, что не способствует подпитке ракушей

донных осадков. С другой стороны, кольматационная корка в некоторой степени защищает коренные выходы песков и галечников от абразионно-эрозионного и декливиального разрушения. На участках активной эрозии и абразии кольматационная корка подвергается разрушению путем фрагментации, а не истончения.

По данным опробования донных осадков, в настоящее время наметилась тенденция к постепенному восстановлению псаммо-псефитовой составляющей твердого стока, что коррелирует с завершением олимпийского строительства в долине реки Мзымты.

Выносимый рекой Мзымтой терригенный материал и образующийся при подводном разрушении выходов четвертичных отложений подводной дельты процессами абразии, осыпания, откола и обрушения рыхлый материал гравитационными процессами сгружается вниз по континентальному склону (см. рис. 1.4.10).

На границе шельфа и каньонов гидролокацией бокового обзора визуализированы протяженные эрозионные ложбины стока и оползневые тела, приуроченные к зоне промежуточной аккумуляции донных осадков. Некоторые оползни являются эшелонированными, состоящими из 2–3 расположенных друг под другом оползней. Ширина зафиксированных оползневых тел достигает 155 м, минимальная мощность 15 м, средняя – 52 м, а длина – до 90 м. Среднемноголетняя линейная пораженность оползнями бровки шельфа за период 2008–2017 гг. составила 17 %, варьируя в отдельные годы от 12 % до 23 %. Учитывая, что гидролокацией не фиксируются оползни размером до 10 м, реальная пораженность бровки шельфа оползневыми процессами больше.

Вершинная – самая крутая – часть каньона Мзымты наиболее литодинамически активна. Здесь резко преобладают процессы разрушения и транзит осадочного материала.

Борта каньонов практически лишены донных осадков (см. рис. 1.4.5), за исключением прерывистого алевропелитового плаща в зоне влияния мутьевого шлейфа выноса реки Мзымты. Здесь обнажаются четвертичные отложения дельтового выступа рек Мзымты и Псоу (Имеретинская низменность), а также неогеновые отложения, представленные валунниками, галечниками, песками и лиманными глинами. В его верховьях, по данным гидролокации бокового обзора и видеоосмотра, активно проявлены такие процессы литодинамики, как декливиальные – подводные оползневые и обвальное-осыпные процессы, перехват вдольберегового переноса наносов и транзит их по склону, мутьевые потоки, донная эрозия и абразия, суффозионные процессы.

Обнажения псаммо-псефитовых отложений дельтового выступа подвергаются преимущественно осыпанию и обвалам (см. рис. 1.4.5), а абрадируемые пласты глин часто имеют трещины, по которым происходит откол и обрушение выступов (см. рис. 1.4.10). В результате формируется расчлененный абразионно-эрозионный рельеф с протяженными вертикальными стенками, уступами, карнизами, останцами, расщелинами и врезами, прислоненными декливиальными шлейфами (см. рис. 1.4.5, 1.4.6, 1.4.10).

В тальвегах каньонов наблюдается активный транзит перемешанного осадочного материала (миктитов) в виде гравитационного смещения (крипа), оползания, осыпания. Присутствуют следы активных течений в виде знаков ряби, указывающие и на периодическое перемещение осадков донными течениями.

Наличие у протяженных вертикальных стенок выдержанных плоскостей, отрицательных, выступающих и входящих углов – свидетельствует об их формировании преимущественно за счет откола по вертикальным трещинам. На участках вертикальных и крутонаклонных склонов присутствуют такие субвертикальные прямолинейные трещины, переходящие в расщелины. На выположенных площадках трещины местами расширяются до рвов шириной до 1–2 м, по которым происходит откол, оседание и обрушение блоков пород. Часть плоскостей отколов очень свежие и под ними присутствуют блоки обрушения размером в несколько метров.

На континентальном склоне видеонаблюдениями установлено прохождение мутьевых потоков (см. рис. 1.4.10). Плотная придонная муть с завихрениями, до суспензионного потока, мощностью от 0,2 до 2,5 м и с резкой границей с прозрачной водой наблюдалась в тальвегах, отрицательных формах рельефа – ложбинах и каньонах, а также на некоторых участках склонов. Наличие мутьевых потоков хорошо коррелирует с различной степенью припорошенности склонов илом – склоны то чистые и отмытые, то припорошенные.

Подводными видеонаблюдениями в бортах и тальвегах каньона зафиксированы разгрузки подземных вод. Они приурочены к ложбинам, трещинам откола, образуют суффозионные ниши и блюдца, в том числе в корке кольматажа (см. рис. 1.4.10). Такая приуроченность свидетельствует о субмаринной разгрузке вод по ослабленным зонам, участии в формировании расчлененного рельефа и, возможно, мест заложения каньонов.

До изобаты 1475–1500 м днище каньона характеризуется темным тоном на сонарном изображении (см. рис. 1.4.1), что соответствует более плотным или грубозернистым грунтам. По данным опробования, здесь эродируются плотные глины нижнего неоплейстоцена и присутствует голоценовый плащ валунно-галечных отложений. Состав гальки и валунов полностью отвечает петрофонду бассейна денудации реки Мзымты, включая гранодиориты кардывачского комплекса, обнажающегося в верховьях реки.

С изобаты 1475–1500 м донные осадки в каньоне становятся менее зернистыми. Об этом свидетельствует смена темного тона на более светлый на сонарном изображении и подтверждается донным опробованием. Такое поведение хорошо соотносится с выполаживанием долины каньона именно с этих глубин и свидетельствует о замедлении скорости литодинамического потока при выходе на более широкий и пологий участок долины с отложением более тонких фракций.

С этого участка (изобаты 1475–1500 м) днище каньона и даже конус выноса интенсивно поражены оползневыми процессами. Крупные оползни хорошо проявлены в рельефе днища каньона. Грунтовые колонки часто содержат текстуры

оползания, фрагментацию, зеркала скольжения и интервалы интенсивной обводненности. В нижних частях грунтовых колонок, вскрывающих разрез на глубину до 3,7 м, часто отмечается загазованность, что, согласно [Ercilla, Casas, 2012], способствует оползнеобразованию.

Донный пробоотбор свидетельствуют о частом присутствии грубозернистых осадков (пески, гравийно-галечные отложения) на всем протяжении долины каньона вниз по рельефу, включая конус выноса. Эти отложения прикрыты мало-мощным чехлом текучего перемытого ила, состоящего из комочков размером в 1–3 мм кокколитовых, сапропелевых и глинистых илов.

Донный пробоотбор показал присутствие на выположенной части долины каньона и конусе выноса обильной придонной взвеси детрита наземной древесной растительности, концентрирующейся в понижениях рельефа.

На сонарном изображении морского дна шлейф разноса донными течениями имеет струйчато-перистый рисунок в средних частях, веерообразный – в периферийных (см. рис. 1.4.1). Линейные светлые зоны на темном фоне интерпретируются как участки аккумуляции пелитовых отложений, заполняющие эрозионные врезы. Ширина врезов от 100 до 200 м с видимой протяженностью около 26 км. Непосредственно по трассе газопровода «Голубой поток» глубина врезов варьировала от 2 до 6 м при ширине от 80 до 160 м. Такой рисунок сонарного изображения дна связывается с придонными литодинамическими потоками [Губенков, 2007].

Заключение

Каньоны Мзымты и Шахе служат высокоэффективной литодинамической системой передачи и зоной транзита терригенного материала в котловину моря с дальнейшим перераспределением тонких фракций донными течениями по котловине. Каньоны тесным образом связаны с сухопутными бассейнами денудации. Они являются частью более крупных денудационно-литодинамических каньонных систем, охватывающих сухопутный бассейн денудации и подводный бассейн каньона с его конусом выноса и шлейфом разноса.

Осадочная структура и морфология каньонов свидетельствует о циклическом характере эрозии, сопровождаемом частичной засыпкой. Обоснованием служит существование висячих долин, валунно-галечный материал на участках, где накапливается фациально более дистальный тип осадков.

Выделяется несколько морфологических типов вершин каньонов в плане, характеризующих стадии развития: клиновидный с веером ответвлений (активное развитие и продвижение каньона), округлая вершина (переходный тип), раструбный (предельный, блокируемый береговой зоной с развитием в бока). Это разделение морфологии действительно как для отдельных отвершков каньонов, так и для собственно вершинной части всего каньона.