

УДК 551.435.314, 551.4.042, 551.435.162

## ПОСТУПЛЕНИЕ ТВЕРДОГО МАТЕРИАЛА В ПРИБРЕЖНУЮ ЗОНУ В РАЙОНЕ г. ГЕЛЕНДЖИКА В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ЛИВНЯ

© 2014 г. В. В. Крыленко, Р. Д. Косьян, М. В. Крыленко, И. С. Подымов

*Южное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Геленджик*

*e-mail: krylenko.slava@gmail.com*

Поступила в редакцию 12.11.2012 г., после доработки 19.03.2013 г.

В представленной работе выполнена оценка воздействия экстремального ливня 6 июля 2012 г. на состояние прибрежной зоны в районе г. Геленджика. Выявлены источники поступления твердого материала на морской берег, проведена их оценка с точки зрения влияния на литодинамические процессы. Ориентировочно определены объемы твердого материала, поступившего как со стоком постоянных и временных водотоков, так и в результате денудационных процессов. Отмечено, что при прогнозе эволюции берега и оценке баланса твердых наносов следует учитывать вероятность подобных экстремальных природных явлений.

DOI: 10.7868/S0030157414010067

### ВВЕДЕНИЕ

6–7 июля 2012 г. на территории нескольких районов Краснодарского края прошли ливневые дожди экстремальной силы. По данным Росгидромета [4] максимальная суточная сумма осадков по метеостанции Новороссийск прежде составляла 180 мм, по Геленджику – 105 мм; обеспеченность (вероятность превышения) этих показателей оценивалась как один раз в 100 лет. Однако за сутки с 07 часов 6 июля по 07 часов 7 июля в Новороссийске выпало 275 мм осадков, и 311 мм – в Геленджике.

Выпадение менее чем за сутки почти полугодового количества осадков вызвало катастрофический подъем вод в реках и малых водотоках. В результате ливня произошел залповый вынос жидкого и твердого стока в береговую зону Черного моря, непосредственно на морском берегу отмечены массовые оползни и обвалы. В короткий срок произошло пополнение прибрежной части моря твердыми наносами в объемах, сравнимых с поступающими за несколько лет при “обычном” режиме. Данное природное явление оказало и будет оказывать влияние на динамику наносов еще долгое время.

В статье выполнен экспресс-анализ воздействия экстремального ливня и вызванного им паводка на литодинамическую обстановку участка побережья Геленджикского района. В природных условиях определялся объем поступившего материала, выявлялись особенности его накопления в условиях бухт и на открытом берегу, намечались направления последующих исследований. Одним из важных аспектов исследований был поиск сле-

дов подобных явлений в прошлом для оценки их частоты и вероятности повторения.

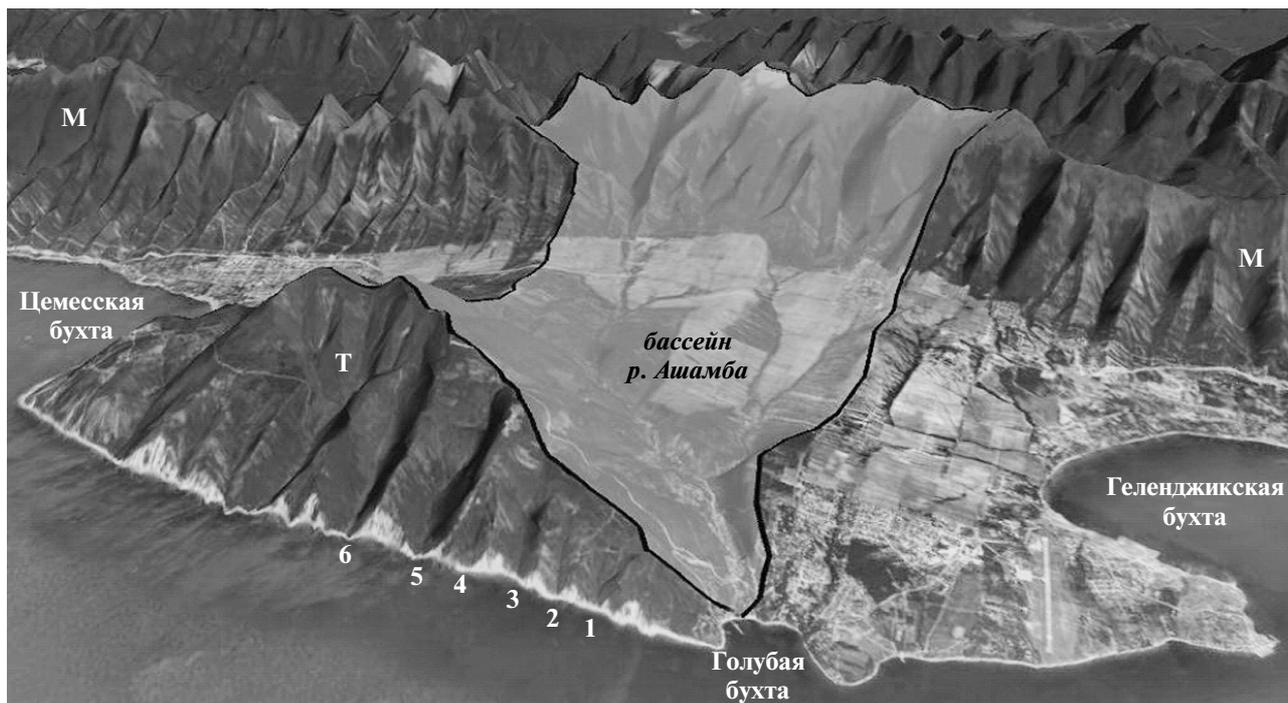
### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Маршрутные исследования проводились в июле–сентябре 2012 г. на участке побережья Черного моря между Геленджикской и Цемесской бухтами (рис. 1). Обследовались бассейны водотоков южного склона низкогорного массива Туапхат (впадающих непосредственно в море). Особое внимание было уделено исследованию устьевой зоны р. Ашамба, где в результате паводка образовалась обширная аккумулятивная форма. Выполнены геодезические съемки ключевых участков. Их результаты были сопоставлены с данными предшествующих подобных обследований.

В первую очередь исследовались участки абразионного берега открытого моря, где выброс материала произошел как в результате оползней и обвалов непосредственно на клифе, так и в виде твердого стока временных водотоков, впадающих в море. Твердый материал поступил непосредственно в прибойную зону, и сразу началась его волновая переработка.

### АКТИВИЗАЦИЯ ОБВАЛЬНО-ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ НА МОРСКОМ БЕРЕГУ

Берег Черного моря в пределах массива Туапхат (рис. 1) представлен абразионным уступом высотой до 100 м, расчлененным глубокими долинами временных водотоков (“щелями”, местное название). Устья щелей приурочены к неглубоким вогнутостям берега, с узкими (не более 5 м)



**Рис. 1.** Бассейн р. Ашамба. На схеме: М – хр. Маркотхский; Т – низкогорный массив Туапхат; 1–6 – номера щелей (соответствуют их местным топонимам).

галечными пляжами [8]. Подводный склон отмель с пологим скальным бенчем. Горные породы представлены флишевой толщей мелового возраста, сложенной слоями мергелей, известняков, аргиллитов. Угол залегания пластов меняется в широких пределах, на рассматриваемом участке преобладают углы более  $45^\circ$ . Характерной особенностью флишей является их малая устойчивость к выветриванию. Поскольку поступление твердого стока в обычном режиме почти отсутствует, для исследуемого побережья разрушение клифа является практически единственным источником обломочного материала для пополнения наносов волнового поля.

В результате экстремально интенсивного ливня на берегу произошли многочисленные обвалы и оползни, сопровождавшиеся падением расположенных на обрыве крупных сосен (рис. 2). Распределение обвальных конусов неравномерно: между 5 и 6-й щелями (рис. 1) отмечено семь обвалов, из них три крупные; между 5 и 2-й щелями – четыре небольших обвала, между 2-й щелью и Голубой бухтой образовалось двенадцать крупных обвалов объемом более  $100 \text{ м}^3$  каждый. Кроме этого, вдоль всего клифа отмечено осыпание мелкого щебня и дресвы, но общий объем этого материала незначителен.

Можно констатировать, что оползни и обвалы произошли на участках, где уже имелись предпосылки для их образования. Пласты скальных по-

род под действием процессов выветривания потеряли устойчивость, и экстремальный ливень лишь способствовал их массовому обрушению. На некоторое время, до появления новых ослабленных участков, сход новых оползней и обвалов должен резко сократиться. Соответственно, сократится и объем поступающего в прибойную зону обломочного материала. Для сравнения можно отметить, что на участке с горизонтальным залеганием слоев флиша (к югу от Геленджикской бухты) оползней и обвалов не отмечено, несмотря на значительно более высокий и практически вертикальный клиф. Таким образом, устойчивость клифа к денудационным процессам в гораздо большей степени зависит от характера залегания слоев флиша, чем от крутизны склона, состава залегающих пород или скорости абразии (схожих на данных участках).

#### ЭРОЗИЯ РУСЕЛ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПАВОДКА ПОСЛЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ЛИВНЯ

Поскольку рельеф массива Туапхат сильно расчленен, дождевой сток быстро поступал в русла временных водотоков, где в короткий срок формировались чрезвычайно мощные водные потоки. Интенсивность эрозии зависела от площади водосбора, формы поперечного сечения долин и степени устойчивости делювиальных отложений. Наиболее мощные эрозионные врезы отмечены в щелях с большим водосбором. На



**Рис. 2.** В результате интенсивного ливня на клифе произошло обрушение ослабленных выветриванием пластов флиша вместе с расположенными на них пицундскими соснами.



**Рис. 3.** В нижней части Первой щели делювий полностью смыт до скального основания (слева), образовался уступ более 3 м высотой (справа).

участках долин с v-образным поперечным профилем произошел размыв делювия до скального основания, образовались уступы высотой до 3 м (рис. 3). Там, где долины имеют корытообразное

сечение и дно покрыто древесно-кустарниковой растительностью, эрозия русла минимальна, хотя растительный покров в зоне прохождения потока сильно пострадал.

Особо следует отметить образование протяженного и глубокого (общая длина не менее 200 м, среднее сечение около 8 м<sup>2</sup>) эрозионного вреза в Шестой щели. Врез произошел на участке долины с относительно широким днищем (достаточным для пропуска потока), мощным древесно-кустарниковым покровом. Критическим фактором явилось наличие на дне ущелья грунтовой дороги, сконцентрировавшей водный поток, а отсутствие растительности и поврежденный верхний слой делювиальных отложений способствовали быстрому образованию эрозионного вреза.

На ряде участков размыв берегов и углубление русла вызвали сход оползней на примыкающих бортах долины, материал этих оползней вовлекался в водный поток и достигал моря. На большей части склонов поступление сколько-нибудь значительного объема обломочного материала с дождевым стоком с бортов долин в водотоки не отмечено.

Характерной особенностью паводка на малых водотоках явился почти полный вынос образовавшегося в ходе размыва делювиальных отложений обломочного материала в море. В обследованных щелях накопление обломочного материала происходило лишь на небольших участках, как правило — в местах выполаживания долин, или из-за поваленных деревьев. Отчасти это можно связать со сравнительно небольшой крупностью обломочного материала, содержащегося в размываемых делювиальных отложениях.

В устьях щелей после паводка отмечено образование конусов выноса (преимущественно из гравия и щебня, с незначительным количеством валунов). Определить общий объем твердого стока сложно, так как объем пляжевых отложений в устьях щелей перед паводком неизвестен, а значительная часть вынесенного материала представляла собой взвесь, уходящую за пределы береговой зоны. Тем не менее, можно ориентировочно оценить вынос наносообразующего материала каждой из крупных щелей (с длиной водосбора более 2 км) не менее чем в 1–2 тыс. м<sup>3</sup>.

#### ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОСТУПИВШЕГО МАТЕРИАЛА НА ЛИТОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Поскольку скорость абразии зависит от соотношения количества и свойств поступающего в прибойную зону материала, высоты и уклона клифа [3], экстремальный ливень существенно изменил существующий “естественный” ход развития берега. Степень и продолжительность влияния на литодинамические процессы поступившего на морской берег наносообразующего материала существенно зависит от механического и минералогического состава поступивших нано-

сов. Важно подчеркнуть качественные различия обломочного материала, поступившего от обвалов и из долин временных водотоков. Из щелей на берег поступили преимущественно щебень и дресва, которые за короткое время распространились в пределах локальных литодинамических ячеек. С одной стороны, этот материал будет способствовать некоторому расширению пляжей и защитит клиф от воздействия небольших волн, с другой стороны — при сильных штормах этот материал при движении будет способствовать абразии основания клифа. С учетом небольших размеров и малой прочности наносов в очень короткий срок они будут полностью измельчены.

В результате обвалов к урезу поступило много крупных (до 1.5 м) глыб, практически не перемещаемых волнами даже при сильных штормах. Под прикрытием обвальных масс (рис. 2) абразия клифа будет приостановлена на продолжительный период. Как указано в [3], ранее на 30 км побережья было отмечено всего 3 подобных участка. После ливня на протяжении всего 4 км выявлено 15 обвалов крупных глыб коренных пород. Но, как показало обследование, проведенное спустя четыре месяца, лишь на 3-х обвалах колющий представлен крупнообломочным материалом из твердых пород, с незначительной примесью малопрочных пород, на остальных обвалах большая часть крупных глыб (из аргиллита и мергеля) в значительной степени потеряли свою прочность, а многие вообще рассыпались.

#### ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ЛИВНЯ НА ВОДОСБОРАХ

Воздействие экстремального ливня на водосборные поверхности морского склона массива Туапсат определялось типом растительности, рельефом и степенью его антропогенного нарушения.

Приморские склоны занимают естественные леса из сосны пицундской. Даже на склонах крутизной более 30°, которые почти лишены травяно-кустарникового покрова, почвенный слой практически не пострадал. Отчасти этот факт можно объяснить сравнительно малой протяженностью склонов, недостаточной для формирования мощных водных потоков. На участках грабово-дубовых лесов, с разреженным (не более 40%) травяно-кустарниковым покровом, на склонах крутизной до 15° мощный ливень также не привел к нарушению целостности почвенного покрова. Можжевеловые редколесья и луга с участием держи-дерева и терновника на месте сгоревших или вырубленных дубовых и сосновых лесов характеризуются высокой (около 100%) степенью сомкнутости травяного покрова [1], что исключило размывание почвы. В тальвегах локальных понижений, в более влажных условиях, сомкнутость травяного покрова зна-

чительно меньше (45–65%), однако сомкнутость кустарникового яруса тут настолько высока, что даже крупный (до 20 см в поперечнике) обломочный материал, влекомый водным потоком, задерживался буквально на первых метрах зарослей. Таким образом, на участках с естественной растительностью даже в ходе экстремального ливня не создавались условия для формирования значительного твердого стока.

В отличие от нетронутых участков природных ландшафтов, значительно пострадали участки со следами антропогенного воздействия. В первую очередь отметим негативную роль пешеходных троп. Тропы сыграли роль концентраторов водного потока, глубина их вреза в почву увеличилась до 30–80 см, на участках, где почвенный слой имеет небольшую мощность, он был разрушен до скального основания. В местах поворотов троп происходил массовый сброс воды и влекомого ею обломочного материала из “русла” на плоскость склона или в долину временного водотока. Аналогичный эффект наблюдался в местах любых линейных повреждений почвенно-растительного покрова – мест прокладки труб, кабелей, следов проезда техники.

Степень влияния грунтовых дорог (лесоустойчивых, противопожарных) на устойчивость ландшафта к воздействию экстремального ливня значительно зависела от условий их прокладки. На пологих дорогах (с уклоном до 5°–10°), дождевая вода с края дороги скатывалась вниз по склону равномерно, без повреждения почвы. Если же имелись условия для накопления значительного объема стока (в выемках), то в местах сброса воды с полотна дороги образовались промоины до 15 см глубиной и до 50 см шириной.

Наиболее разрушительные последствия наблюдались на грунтовых дорогах, проложенных вдоль склонов. Ливневой сток, практически без потерь на просачивание, не задерживаясь растительностью, в короткий срок формировал мощные потоки, которые по мере вовлечения в них рыхлого материала превращались из водных в грязекаменные. В местах разгрузки потоков отмечены накопления грязекаменного материала объемом десятки и сотни кубических метров.

#### ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ЛИВНЯ НА ДОЛИНУ р. АШАМБА

Река Ашамба (Яшамба) дренирует южный склон Маркотхского хребта (высота до 762 м) и северо-восточный склон массива Туапхат (высота до 460 м); имеет площадь водосборного бассейна 43 км<sup>2</sup>, длину – 12,5 км (рис. 1). Долина р. Ашамба в настоящее время практически полностью освоена под жилую и дачную застройку. В среднем и

нижнем течении ширина днища долины варьирует от 100 до 300 м. Высота надпойменной террасы, на которой расположена застройка – 2–3 м относительно уровня низкой поймы. В среднем течении под незначительным слоем аллювия расположено скальное основание, в нижнем течении мощность аллювия достигает десятков метров.

Шестого июля 2012 г. было отмечено две волны паводка. Выход речной воды на террасу отмечался практически по всей длине долины, хотя большая часть стока шла через сечение русла. Этому способствовали древесная растительность в пойме реки, падение деревьев в русло по мере разрушения берегов, наличие мостов с недостаточным сечением (либо забивавшимся карчами и обломками разрушенных строений). Выходящий на террасу поток имел меньшие, чем в основном русле, скорости течения, поэтому его воздействие ограничивалось повреждением растительности либо непрочных построек. Размыв почвы (а тем более, коренных грунтов) происходил лишь на ослабленных участках (насыпях, выемках). Накопление твердого материала (вынесенного водным потоком из основного русла реки) крупнее песчаных фракций в пределах террасы не отмечено. В результате прохождения паводка была полностью уничтожена растительность на пойме и размываемых участках берегов. Особо следует отметить падение крупных экземпляров (до 20 м высотой и до 1 м в диаметре) белых тополей в устьевой части реки (рис. 4). Возраст пострадавших деревьев – не менее 50 лет. Этот факт косвенно указывает на малую повторяемость (либо вообще уникальность) наводнений подобной силы.

#### ФОРМИРОВАНИЕ КОНУСА ВЫНОСА В УСТЬЕ р. АШАМБА

Во время паводка струя речной воды визуально прослеживалась в море на расстоянии не менее чем 400 м. По устному сообщению сотрудников Географического факультета МГУ, у оконечности пирса (200 м от уреза) соленость падала до 2‰. В устье р. Ашамба образовался обширный конус выноса, включающий надводную и подводную часть (рис. 5). Подводная часть сложена преимущественно неокатанным крупнообломочным материалом, имеет языковидную форму (вытянутую вдоль направления речной струи во время паводка) и прослеживается более чем на 100 м от уреза. Подошва конуса расположена на глубине более 5 м, его относительно плоская поверхность имеет возвышение относительно дна до 2,5 м. Вдоль подошвы конуса на дне накоплены крупные обломки строительных конструкций, деревья, куски плотной серой глины диаметром до полуметра. Общий объем вынесенного рекой твердого материала, отложившегося непосредственно в устье



Рис. 4. Следы прохождения паводка 06.07.2012 г. в долине р. Ашамба.

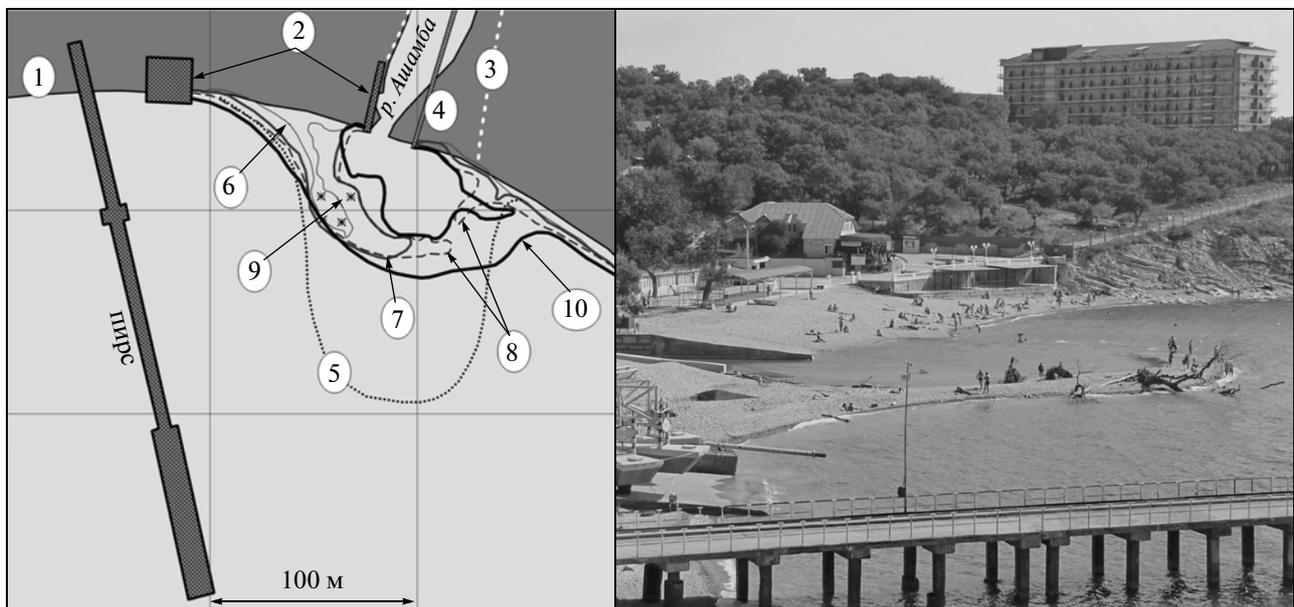


Рис. 5. Формирование конуса выноса в устье р. Ашамба. На схеме: 1 – положение уреза до 06.07.2012 г.; 2 – ж/б пляжеудерживающие сооружения; 3 – границы речной струи при паводке 06.07.2012 г.; 4 – подпорная стена, сооруженная после паводка; 5 – контур подошвы конуса выноса; 6 – линия берега на 18.08.2012 г.; 7 – линия берега на 6.09.2012 г.; 8 – линия берега на 21.10.2012 г.; 9 – вынесенные паводком крупные деревья; 10 – линия берега на 02.11.2012 г. На фото – вид косы 28.09.2012 г.

(не включая мелкие фракции, унесенные дальше в море), составил 8–10 тыс. м<sup>3</sup>.

Песчаные и крупноалевритовые фракции были разнесены по всей акватории бухты, более мелкий материал был вынесен в открытое море. Объем вынесенной в море взвеси оценить сложно, но, очевидно, что он был значительно больше накопленного вблизи устья материала. По разным оценкам, в составе твердого стока горных рек содержится от 10% до 20% влекомого материала [6, 7], соответственно, объем вынесенных р. Ашамба взвешенных наносов мог составить

60–100 тыс. м<sup>3</sup>. Согласно [5], концентрация взвеси в речной воде во время паводка может достигать 11 кг/м<sup>3</sup> (р. Мзымта, 1977 г.). Если принять за основу объем жидкого стока за время паводка (~13000000 м<sup>3</sup>), и оценить среднюю концентрацию взвеси в воде р. Ашамба в 10 кг/м<sup>3</sup>, то всего во взвешенном состоянии рекой могло быть вынесено не менее 130000 т (около 65 тыс. м<sup>3</sup>) материала. Через неделю после паводка (13.07.2012) на траверзе Голубой бухты на глубине 22 м наблюдался слой илистой суспензии толщиной до 30 см. Вынесенная взвесь перемещается в придонном

слое под действием течений и при достижении бровки шельфа может сформировать мощный суспензионный поток [2].

Надводная часть конуса выноса формировалась и видоизменялась в течение прошедших после паводка штормов. Первоначально она представляла собой галечный островок, опирающийся на “каркас” из стволов вынесенных рекой крупных деревьев. Спустя два месяца, после прохождения нескольких штормов средней силы с правой стороны от устья сформировалась галечная коса длиной около 60 м и высотой гребня более метра над уровнем моря (рис. 5).

Во время сильного шторма в начале ноября наблюдался процесс массового перемещения наносов из подводной части конуса на косу и прилегающий пляж. Вдоль всего уреза сформировался штормовой вал высотой до 1.5 м, сложенный слабоокатанным обломочным материалом с заметной желтизной (т.е. аллювиальным и терригенным), хорошо визуальным отличимым от светлой и окатанной морской гальки. Коса примкнула к выступу берега левее устья, образовав полукруглый бар. На морской стороне аккумулятивной формы после перемещения мелкой гальки остались преимущественно валуны, при этом существенного отступления уреза не наблюдалось. Устойчивость и направление трансформации образовавшейся аккумулятивной формы, по-видимому, будут определяться крупностью слагающего ее подножие материала, силой штормов и паводков (и их сочетанием).

## ВЫВОДЫ

1. Прошедшие летом 2012 г. на юге Краснодарского края ливни экстремальной интенсивности, вызвавшие катастрофические паводки, оползни и обвалы, оказали значительное воздействие на литодинамические процессы в прибрежной зоне Черного моря.

2. Ненарушенные природные ландшафты обладают высокой устойчивостью к воздействию экстремального ливня, обломочный материал с них в водотоки и море практически не поступал. Наибольший объем твердого стока в пределах водосбора формировался на участках с антропогенно нарушенным рельефом.

3. Значительный объем твердого стока сформировался за счет линейной эрозии вдоль русел водотоков, где образовались глубокие эрозионные врезы, а почти весь материал был вынесен в море.

4. Приморские абразионные склоны в данный момент стабилизировались на новом уровне, на некоторое время поступление твердого материала с клифа в прибрежную зону снизится.

5. Образовавшиеся вдоль русел временных водотоков эрозионные врезы будут способствовать поступлению твердого материала даже при паводках меньшей силы, а также приведут к усилению оползневой активности на прилегающих склонах долин.

6. Поступление одномоментно огромного объема твердых наносов в прибрежную зону, безусловно, окажет влияние на баланс наносов побережья. При анализе предшествующей эволюции берега, прогнозе его дальнейшего развития, оценке баланса твердых наносов следует учитывать вероятность подобных природных явлений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алейникова А.М., Крыленко В.В., Липка О.Н.* Сукцессионные смены растительности гаревых лесов из сосны пицундской на западной оконечности черноморского побережья Кавказа (между Цемесской и Геленджикской бухтами) // Вестн. РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2012. № 2. С. 26–32.
2. *Есин Н.В., Косьян Р.Д., Крыленко В.В., Сорокина О.В.* Процессы загрязнения Черного моря антропогенными радионуклидами // Комплексные исследования береговой зоны Черного моря. М.: Научный мир, 2011. С. 299–310.
3. *Есин Н.В., Савин М.Т., Жиляев А.П.* Абразионный процесс на морском берегу. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 200 с.
4. Катастрофический паводок в бассейне р. Адагум 6–7 июля 2012 г. и его причины. <http://www.meteor.ru/rgm3d.aspx?RgmFolderID=a4e36ec1-c49d-461c-8b4f-167d20cb27d8&RgmDocID=d9549a59-7f70-4877-8956-f7cc8cabeb98>.
5. *Крыленко В.В., Исупова М.В., Крыленко М.В., Дзаганя Е.В.* Формирование геоэкологических особенностей устьевой области р. Мзымта и побережья Имеретинской низменности под действием естественных и антропогенных факторов // Инженерная экология. 2011. № 5 (101). С. 3–15.
6. Сток наносов, его изучение и географическое распределение / Под ред. Караушева А.В. и др. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 240 с.
7. *Шуйский Ю.Д.* Современная динамика аккумулятивных береговых форм рельефа // Природные основы берегозащиты / Под ред. Зенкович В.П. и др. М.: Наука, 1987. С. 116–131.
8. *Kosyan R.D., Krylenko M.V., Chubarenko B.B., Ryabchuk D.V.* Russian coasts of European seas / Coastal erosion and protection in Europe / Eds. Pranzini E., Williams A. UK: Earthscan, 2012. P. 9–30.

## **Transport of the Solid Material into the Coastal Zone near Gelendzhik as a Result of Extremely Heavy Rain**

**V. V. Krylenko, R. D. Kosyan, M. V. Krylenko, I. S. Podymov**

The paper presents estimates of the influence of extremely heavy rain (on July 6, 2012) on the condition of the coastal zone near Gelendzhik town. The sources of solid material are defined and the estimates, in the terms of their influence on the lithodynamical processes are obtained. The volumes of the solid mater, transported with the runoff along the permanent and temporal watercourses and as a result of denudation, are roughly defined. It is noted that the forecast of the coast evolution and estimation of sediment balance requires the consideration of the probability of the similar extreme natural phenomena.