

УСЛОВИЯ И ХАРАКТЕР ФОРМИРОВАНИЯ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ НА РАВНИНЕ ТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЫ (НА ПРИМЕРЕ о-ва КУБА)

В ноябре 1976 г. на северном побережье Кубы в провинции Гавана сформировались грязекаменные (селевые) потоки, впервые зафиксированные исследователями [1]. Условия, в которых протекал селевой процесс, на первый взгляд выглядят весьма неблагоприятными для этого процесса, именно поэтому местные геоморфологи давали иное, техногенное, объяснение возникшим формам рельефа. Нетипичность условий формирования заставляет обратиться к анализу этого явления. Кроме того, на Кубе есть и другие территории, обладающие значительно более благоприятными условиями для формирования селей, чем те, которые упоминались выше. Это заставляет не только предполагать существование других генетических типов селей, но и ожидать более крупных масштабов этого явления на Кубе и в других тропических регионах. Косвенные данные, например по строению устьевых участков речных долин, а также описания других явлений [2, 3] согласуются с этими предположениями.

Приводимый в статье материал представляет как научный, так и практический интерес прежде всего потому, что в научной литературе сведения о селеях и условиях их формирования в тропической зоне крайне ограничены. Наблюдавшиеся и закартографированные нами конусы выноса, эрозионные селевые русла и водосборные воронки располагаются на северном побережье острова в провинции Гавана, между городами Гуанабо и Санта-Крус-дель-Норте. По свидетельству местных жителей, бурные потоки сформировались и вынесли грубообломочный материал 24 ноября 1976 г. Часть вынесенного материала оказалась даже на крышах домов. Кроме того, была затоплена водой низкая равнина, расположенная между крутым склоном высокой равнины и насыпью шоссеной дороги Виа-Бланка. На памяти живущих здесь крестьян подобный же случай, когда селевые выносы достигли располагающихся в устьях долин домов, произошел в 1932 г.

Из пяти эрозионных форм, обследованных нами, четыре имеют свежие конусы селевых выносов, расположенные у тыловой шва низкой морской равнины. Размеры конусов соответствуют размерам селевых бассейнов. Конус выноса долины II порядка имеет площадь 0,36 км², конусы выноса оврагов – 0,09 км². Длина наименьшего из оврагов не превышает 280 м, самая протяженная балка достигает 2,2 км, причем длина эрозионного русла в зоне аккумуляции соизмерима с длиной самого оврага.

Форма конусов выноса очень характерная: они выпуклые, их высота около 20 м в тыловой части и постепенно снижается к поверхности морской равнины, на которой конусы распластаны. Конусы частично задернованы, прорезаны несколькими радиальными руслами, образовавшими промоины глубиной до 2 и шириной до 5 м. В промоинах вскрывается материал предшествующих селевых выносов. На отдельных же участках русел весь рыхлый материал вымыт и обнажена гладкая поверхность, образованная отложениями более ранних генераций селевой аккумуляции, сцементированными карбонатными растворами.

В распределении твердого материала в конусах также наблюдаются характерные для селей особенности. Наиболее крупные глыбы (до 80 см в диаметре) и обломки отложились выше по течению, в тыловой части конусов, непосредственно ниже склона высокой равнины. Здесь в отложениях отсутствует сортировка материала. Ниже по течению в краевых частях конусов материал заметно мельчает (обломки размером до 18 см) и обнаруживает признаки сортировки: слабо выраженную слоистость, большую однородность толщи, залегание обломков на плоской стороне и др. При этом хорошо различаются отложения разных по времени селевых выносов (рис. 1). Так, в промоине, вскрывающей отложения конуса, обнажаются (сверху вниз):

0,0–0,6 м – суглинок белого и светло-розового цвета с дресвой и щебнем известняков и обломками слабо сцементированной конглобрекчии (типа "каliche"), размер обломков до 30 см;

0,6–0,7 м – суглинок красновато-бурого цвета, лишенный обломочного материала, с признаками почвообразовательного процесса;

0,7–1,4 м – суглинок красноватый, содержащий дресву и щебень известняков и конглобрекчии, максимальные размеры которых достигают 30 см;

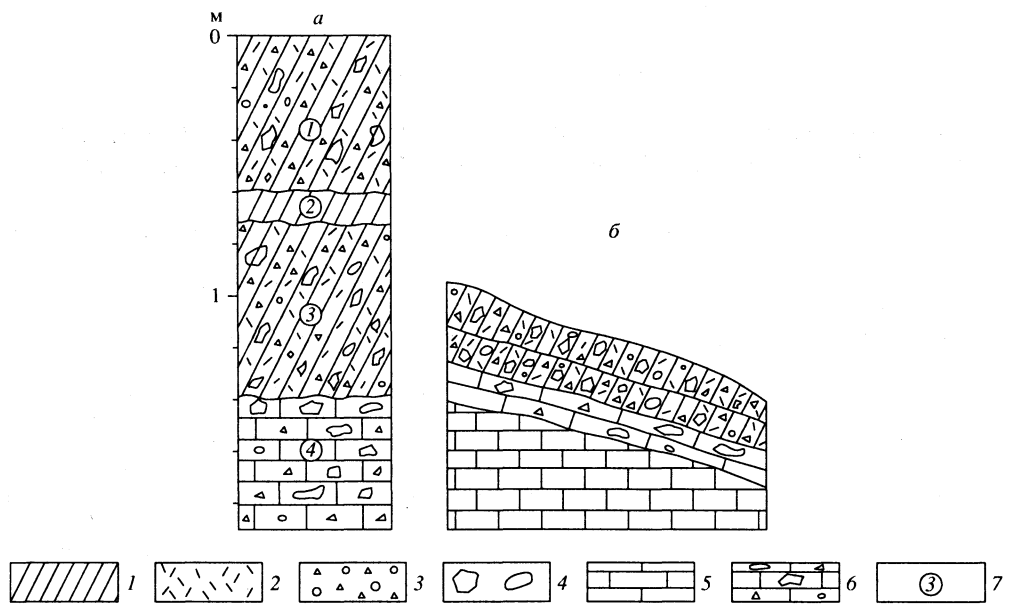


Рис. 1. Строение отложений (а) и продольный разрез селевого конуса (б).

1 – суглинок, 2 – дресва, 3 – щебень и галька, 4 – глыбы и валуны, 5 – известняки, 6 – конглобрекчия слабо цементированная ("каliche"), 7 – номер слоя

1,4–1,9 м – конглобрекчия (типа "каliche") слабо цементированная терракотово-розовым цементом, легко разбивается молотком.

Главной особенностью наблюдавшихся нами отложений является крупный (до 80 см) размер обломков в русле и на конусах выноса, не соответствующий размеру и мощности тех временных потоков, которые обычно текут в этих руслах. Средние уклоны рассматриваемых эрозионных форм приведены в табл. 1.

Продольные профили эрозионных форм представлены на рис. 2. Они имеют ярко выраженный ступенчатый характер. Ступени образованы пластовыми выходами миоценовых известняков формаций Quines и Sojtag. Известняки кавернозные, с понорами и каррами, понижения в них заполнены рыхлым материалом. Последний представлен красноцветным суглинком с обломками известняков и "каliche" разного размера (дресва, щебень, глыбы).

В строении склонов долин отмечается много характерных для селевых бассейнов черт: прислонение чешуй рыхлого материала, появление локальных аккумулятивных террасок в местах резкого изменения направления долин. Эти терраски сложены рыхлым материалом, отличающимся от типичных аллювиальных и балочных отложений своей несортиро-

Таблица 1

Средние и максимальные уклоны эрозионных форм

Эрозионные формы	Средние уклоны	Максимальные уклоны	Примечания
I	0,04	0,11	Склоны частично задернованы. Селевый паводок
II	0,16	0,18	Селевый паводок. Материал на крыше дома
III	0,10	0,20	Интенсивные подвижки склонового материала. Селевый паводок
IV	0,11	0,17	Склоны задернованы, густой травостой. Водный паводок

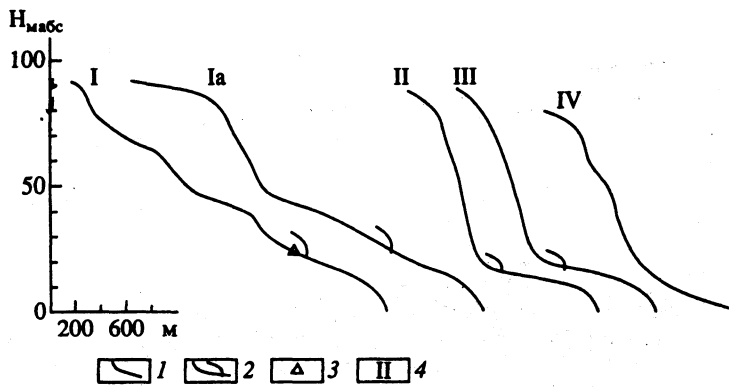


Рис. 2. Продольные профили оврагов и балок северного побережья провинции Гавана в районе города Санта-Крус-дель-Норте.

1 – продольный профиль, 2 – место расположения краевой части селевых конусов 1976 г., 3 – местоположение разреза, представленного на рис. 1, 4 – номер эрозионной формы

ванностью и отсутствием деления на фации. Видимая мощность их в рассматриваемых оврагах и балках составляет 1,2–1,5 м. Представлены они дресвой, щебнем разного размера и небольшими глыбами в красноватом суглинке. В местах слияния двух водотоков также отмечается аккумуляция твердого стока селей.

Склоны одного из оврагов (III в табл. 1), хотя и плотно задернованы и залесены, представляют собой чрезвычайно динамичное образование, так как сложены смещенными блоками, глыбами и глыбками мелкозема с обломками известняков. Мощность водотока в этом овраге была, вероятно, усилена еще тем, что в водосборной части бассейна к нему подведена водоотводная труба, уложенная в канаву глубиной 0,3 и шириной 0,5 м, явившуюся дополнительным руслом.

Водосборные части селеносных долин представляют собой циркообразные плоские понижения, поверхность которых сложена известняками, покрытыми каррами. Почвенный покров на известняках маломощный, распределен неравномерно – пятнами. На поверхности среди редкой кустарниково-травянистой растительности располагаются обломки известняков, образовавшиеся в результате обрушения стенок карров.

Проанализируем природные условия, в которых образовались эти сели. В орографическом отношении эта территория принадлежит к подобласти плато и возвышенностей Гавана–Матансас [4], абсолютные высоты которой не превышают 100 м. Это абразионно-ступенчатая морская равнина, северный склон которой обращен в сторону моря и спускается к нему серией морских террас (рис. 3). Поверхности террас плоские, субгоризонтальные, разделяющие их склоны имеют крутизну 20–30° и высоту до 50 м.

В пределах интересующей нас равнины выделяются следующие элементы рельефа. Вдоль моря тянется узкая прибрежная полоса коралловых известняков до 60 м шириной. Она покрыта каррами типа "собачьи зубы", понижения которых заполнены известковистым песком. Это вид прибрежного голого карста, носящий местное название "себурко". В глубь острова от этой прибрежной полосы протягивается наклонная равнина, вдоль внешнего края которой проходит насыпь шоссеиной дороги Виа-Бланка (в насыпи имеются трубопроводы для сбрасывания временных русловых, а также ливневых вод, собирающихся на поверхности равнины). Высота равнины постепенно увеличивается от 2–3 м в прибрежной части до 20 м у тылового шва. Равнина сформирована процессами морской абразии в кайнозойских известняках и имеет "пятнистый" маломощный покров каменно-карбонатно-ферралитных красно-бурых почв [5]. Мощность почвенного покрова колеблется от 0 до 50 см. Естественная растительность представлена колючими кустарниками побережий, редкими древесными формами и несомкнутым травянистым покровом. Часть площади занята огородами, но в основном она используется под пастбища.

Гипсометрически выше располагается террасированная высокая морская равнина, с наклонной, слегка волнистой поверхностью и высотой у бровки около 70 м, а в тыловой части – до 100 м. Она также сложена известняковыми породами и имеет ту же ландшафтную характеристику, что и низкая равнина: несомкнутый травянисто-кустарниковый покров на

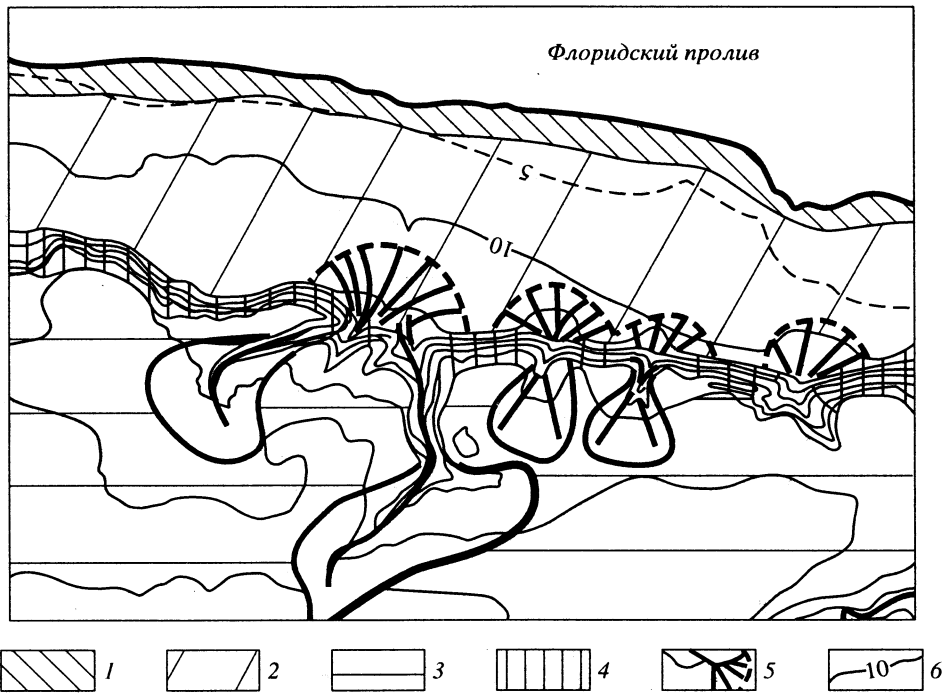


Рис. 3. Геоморфологическая схема селеопасного района.

1 – поверхность низкой морской террасы высотой 0–2 м, занятая прибрежным голым карстом "себоруко"; 2 – поверхность низкой морской террасы высотой 2–20 м, с маломощным ("пятнистым") почвенным покровом, редкими деревьями, несомкнутым травянисто-кустарниковым покрытием, используемая под пастбища и огороды; 3 – поверхность высокой морской равнины высотой 70–100 м с маломощным ("пятнистым") покровом каменистых почв, используемая под пастбища и плантации хенекена; 4 – уступ высокой морской равнины высотой 50 м, крутизной 20–30°, с сомкнутым травянистым покровом; 5 – селеопасные эрозионные бассейны с конусами выноса; 6 – изогипсы, проведенные через 10 м

маломощных каменистых карбонатно-ферралитных красно-бурых почвах. Используется главным образом под пастбища и плантации хенекена.

Крутой уступ, разделяющий эти две субгоризонтальные поверхности морского генезиса, имеет крутизну до 30° и высоту около 50 м. Поверхность его задернована. Он густо расчленен овражно-балочной сетью: на склоне протяженностью 3 км насчитывается девять четко выраженных эрозионных форм, не имеющих постоянного водотока. Они различны по своей морфологии и стадии развития. Одни из них представляют собой активные овраги, другие – заросшие травой и древесной растительностью балки.

Климатические условия этого прибрежного района Кубы чрезвычайно благоприятны для развития эрозии: 1200–1400 мм осадков в год при неравномерном их распределении по сезонам. Во влажный период, длящийся с апреля по ноябрь, выпадает до 1000 мм, т.е. 70–80% годовой нормы. Наиболее влажные месяцы – июнь (до 400 мм), сентябрь, октябрь (до 550 мм), ноябрь (до 300 мм). При этом максимальные суточные количества могут достигать 200–250 мм (5%-ная обеспеченность), суточные максимумы в 90 мм имеют 50%-ную, а в 125 мм – 10%-ную обеспеченность. Осадки влажного сезона носят главным образом ливневой характер. Интенсивность их достигает до 2 мм/мин [6].

Катастрофические сели формируются и при значительно более низких показателях осадков и их интенсивности. Так, в селевых долинах Азербайджана (климат сезонно-влажных субтропиков) сели формировались в результате выпадения кратковременных очень интенсивных (24,0 мм в течение 30 мин, интенсивность 0,8 мм/мин) и более длительных, но менее интенсивных осадков (25,0 мм в течение 2 ч 30 мин, средняя интенсивность 0,17 мм/мин).

Осадки (мм), выпавшие на северном побережье провинции Гавана в селеопасный период ноября 1976 г.

Метеорологические станции	22.XI	23.XI	24.XI	25.XI
Сан-Луис	19,8	9,7	107,5	
Сан-Делисиас			117,5	
Кохимар			9,0	97,0
Сан-Хосе	13,5		54,0	119,0
Карабальо	6,0	13,0	3,0	82,3
Серхио-Гонсалес	22,0		8,8	50,0
Сан-Франсиско	15,0		28,5	70,5
Хигуабо	19,9		11,0	125,1
Рио-Бланко		15,0		4,9
Лас-Кавилас	20,6	1,0	9,0	79,0
Овьедо	16,0			61,0
Конде	7,0	5,0	60,0	

Данные экспериментальной станции "Табако negro" в Сан-Хуан и Мартинес в провинции Пинар-дель-Рио, ведущей наблюдения за эрозией почв, свидетельствуют об активном смыве почвенно-грунтового слоя во время ливневых осадков. Так, за один ливень 12 октября 1971 г. (выпало в течение 4 ч 30 мин 137 мм при средней интенсивности 0,51 мм/мин) с экспериментальных делянок, имеющих уклон поверхности 4°, было снесено 43 т/га грунта (делянка задернована) и 59,9 т/га (делянка не задернована) [6].

Таким образом, анализ климатических условий северного побережья провинции Гавана свидетельствует о том, что они в целом благоприятны для формирования селей. О количестве осадков, выпавших в рассматриваемом нами районе в селеопасный период, можно судить по данным близлежащих метеорологических станций (табл. 2). Из них видно, что период с 22 по 25 ноября изобилует осадками, причем на отдельных участках 24 и 25 ноября количество осадков приближалось к среднесуточным максимумам, повторяющимся лишь раз в 10 лет. Этому интервалу предшествовал период почти без дождей, длившийся с 5 по 20 ноября.

Существенную роль в формировании этих селей, вероятно, сыграло то обстоятельство, что интенсивные дожди шли на протяжении нескольких дней. Это обеспечило малые потери воды на инфильтрацию в конце дождливого интервала, поскольку аккумулирующие емкости трещин и карстовых полостей известняков водосборного бассейна уже были заполнены. Это резко увеличило коэффициент поверхностного стока и подвижность сильно увлажненного материала в конце дождливого периода. К тому же обилие осадков и их интенсивность увеличились именно во второй половине этого интервала. Из практики наблюдений за селями известно, что возможность схода водокаменных селей увеличивается, если интенсивность осадков возрастает к концу ливня, когда уже высока насыщенность влагой почвогрунтов и резко повышается коэффициент стока.

Судя по фракционному составу наносов в конусах выноса, рассматриваемые селевые паводки принадлежали к типу грязекаменных, т.е. они представляли собой поток со взвешенными песчано-глинистыми частицами и влекомым крупнообломочным материалом (щебень, галька). Валуны и глыбы передвигались при этом скачкообразно под действием повышенных скоростей, возникавших при прохождении суженных участков долин или прорыве нагромождений обломков в русле. По размеру селевого выноса они должны быть отнесены к типу мелких селей. Обильные осадки, выпавшие 25 ноября, не вызывали формирования селей, так как рыхлый материал, подготовленный выветриванием и склоновыми процессами в межселевой период, был уже вынесен из долин 24 ноября.

Итак, специфическими особенностями указанных селей являются следующие.

1. Формирование в условиях равнинного рельефа (относительные высоты 70 м), обладающего невысокой энергией по сравнению с горным. Кроме того, в долинах равнинных рек, как следует из расчета водного баланса [7], подземный сток превосходит поверхностный.
2. Формирование на полуобнаженных известняках, интенсивно проработанных карстовым процессом, с карстовыми полостями и, следовательно, имеющих высокую инфильтрационную способность и низкий коэффициент поверхностного стока.

3. Наличие относительно небольшого количества рыхлого материала в долинах из-за гипергенного процесса его цементации и образования пустынных кор.

Перечисленные особенности принадлежат к числу факторов, неблагоприятных для селеформирования. И вместе с тем совокупность всех природных условий вызывает периодическое возникновение селей. Сели эти по генетической классификации [8] относятся к дождевому типу зонального проявления. Главным фактором их формирования является климатический. По масштабам они относятся к категории микроселей, а селевая активность территории, при оценке которой учитываются повторяемость и объем селевых выносов, может быть оценена в 3 балла, что и показано на карте, составленной под руководством В.Ф. Перова [9, 10].

Однако сочетание разнообразных орографических, климатических, гидрометеорологических условий Кубы может вызывать сход селей значительно большей разрушительной силы, чем рассмотренные микросели. Здесь имеются территории, селевая активность которых должна быть оценена более высокими баллами, чем на упомянутой карте [10]. Так, максимальное количество осадков на Кубе достигает 2800–3000 мм в год, т.е. в 2–2,5 раза превышает те, при которых сформировались сели в рассмотренном районе. Их выпадение характеризуется неравномерным распределением по времени года и преобладанием осадков ливневого характера.

При этом большое количество осадков приурочено к горным районам, где высокие энергия рельефа и уклоны поверхности, а относительные превышения в десятки раз превосходят рассмотренные выше. Эрозионные формы представлены там речными долинами, более крупными и протяженными, чем овраги северного побережья провинции Гавана. Уклоны их днищ существенно превышают нижний характерный селеформирующий уклон (0,1), поверхностный сток в реках превосходит подземный и коэффициент корреляции полного речного стока с осадками составляет 0,9 [7]. Высота гор достигает почти 2000 м, а с высотой, как известно, возрастает объем выноса материала с единицы площади бассейна.

Геологические условия горных районов также значительно более благоприятны для формирования рыхлых отложений – твердой составляющей селей. Высокая интенсивность химического выветривания и широкое распространение магматических и изверженных пород обеспечивают обилие тонкого рыхлого материала, что в сочетании с большим количеством осадков вызывает высокую подвижность его на склонах и развитие процесса "тропической солифлюкции" [11], обеспечивающей высокие скорости его перемещения в днища долин.

Важным дополнением к этим факторам является широкое развитие антропогенных ландшафтов, возникших на месте сведенных лесов, занимающих в настоящее время лишь 8% площади страны [12]. И хотя леса сохранились главным образом в горных районах, сочетание прочих природных условий в горах чрезвычайно благоприятно для формирования селей, так как именно на склонах, а не на плакорных участках наблюдаются максимальные скорости выветривания коренных пород [11], т.е. подготовки твердой составляющей селей.

К этим факторам добавляется и активность оползневых процессов в горах. Оползни не только составляют рыхлый материал для селей, но и могут быть дополнительным фактором, создавая запруды на реках, прорыв которых может сам по себе вызвать сели.

Наиболее мощными из метеофакторов являются, по всей вероятности, тропические циклоны – с 1800 по 1966 г. прошло 35 ураганов, из них 10 с наибольшей интенсивностью 65–100 м/с. Ураганам подвержены горные районы востока страны. Они приводят в действие дополнительные механизмы, усиливающие селеформирование, такие, как оползни, наводнения, нагон морских вод. В совокупности эти факторы вызывают, вероятно, чаще селевые наводки, чем обычные.

Судя по составу горных пород, представленных помимо известняков глинистыми и кремнистыми сланцами, спилитами, диабазами, андезитами, туфами, образующими при выветривании гранулометрически мелкий материал, в горных регионах Кубы могут образовываться также структурные, или грязевые, сели.

Имеются наблюдения, подтверждающие возможность схода селей значительной мощности. Так, устье р. Юмури (провинция Ориенте) в результате урагана 1957 г. оказалось настолько занесено крупнообломочными наносами, что по реке прекратилось движение пароходов, ранее проходивших до плато Майси, т.е. на расстоянии 3–4 км от устья в глубь долины. Из-за этого пришлось отказаться от сельскохозяйственного использования земель в бассейне реки, так как стал невозможен вывоз продукции.

Кроме того, Х. Матео наблюдал обширные участки наносов в устьевых частях небольших долин гор Сьерра-Маэстра. Площади и объемы аккумулированного материала не

соизмеримы здесь с величиной водотоков, дренирующих долины: при ширине русла 2 м площадь устьевой аккумуляции имеет ширину до 1 км и длину 3 км. Крупный размер обломков, лежащих на поверхности, свидетельствует об их селевом происхождении, а не о принадлежности к отложениям "тропической солифлюкции", которыми заполнены днища многих долин.

Подводя итог анализу существующих в горных районах Кубы факторов, благоприятных для селеобразования, следует заключить, что здесь, как и в иных подобных регионах влажных тропиков Земли, могут формироваться сели. Масштабы и частота их проявления, по видимому, значительно превышают закартографированные нами на равнине Кубы, так как и площади бассейнов, и размах высот в долинах горных рек значительно больше, и возникают они на территориях, сложенных породами, весьма благоприятными для формирования твердой составляющей селей.

Селевая активность этих территорий должна быть оценена не менее чем в 4–5 баллов по шкале, предложенной В.Ф. Перовым [8] и использованной в легенде карты селевой опасности [10], что рассматривается как средний уровень активности. При этом возможны все [8] механизмы их зарождения: эрозионный, прорывной, обвально-оползневой.

Кроме того, на этих территориях следует ожидать формирования не только дождевых селей зонального проявления, но и селей регионального [8] проявления, обусловленных достаточно высокой сейсмичностью (4–5 баллов на Кубе и выше в других горных регионах тропической зоны).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Постоленко Г.А., Роберто дель Бусто, Луиса Иньегес.* Характер и особенности развития селевых процессов на Кубе // *Вестн. МГУ. Сер. геогр. Деп. ВИНТИ.* 1240. 1980. № 4.
2. *Nunies Jimenez.* Erosion contra Cuba // *Mundo Científico.* Londrez. 1964. 8 (2). С. 1–12.
3. *Nunies Jimenez.* Erosion desgasta a Cuba // *Instituto del Libro. Cuadernos populares.* 1968. 34 с.
4. *Mateo X.M.* Ландшафтный анализ равнин Кубы // *Вестн. МГУ. Сер. геогр.* 1978. № 2. С. 51–57.
5. *Национальный атлас Кубы.* М., ГУГК, 1972.
6. *Radkov R.D., Efrén Isnaga y otr.* Estudio sobre la erosion en la Estacion Experimental del Tabaco Sun Juan y Martines. La Habana: Instituto del Suelo de Academia de Ciencias de Cuba, 1973. 134 с.
7. *Гонсалес Х.И.* Средний многолетний сток и водный баланс Западной Кубы // *Вестн. МГУ. Сер. геогр.* 1979. № 3. С. 57–64.
8. *Перов В.Ф.* Селевые явления. Терминологический словарь. М.: Изд-во МГУ, 1996. 45 с.
9. *Перов В.Ф.* Основные особенности селевых явлений севера Евразии и их распространение на Земле // *Жизнь Земли.* М.: Изд-во МГУ, 1997. Вып. 30. С. 108–120.
10. *Perov V.F., Artjuhova I.S., Budarina O.I. and oth.* Map of the world mudflow phenomena. Debris flow hazards mitigation: mechanic prediction assessment // *Preceeding of First International Conference San Fransisco,* 7–9 august 1997. N.Y., 1997. P. 322–331.
11. *Лилленберг Д.А.* Основные закономерности тропического морфогенеза Кубы // *Бюллетень МОИП. Отд. геол.* 1973. Вып. 2. С. 37–44.
12. *Нуньес Хименес Антонио.* География Кубы. М.: Прогресс, 1972. 307 с.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
05.03.99

CONDITIONS AND CHARACTERISTIC FEATURES OF MUDFLOWS ON THE PLAINS OF THE TROPICAL ZONE (TAKING CUBA AS AN EXAMPLE)

G.A. POSTOLENKO

S u m m a r y

The author has carried out field observations of mudflows on Cuba – in the tropical zone with very peculiar conditions. The analysis of these conditions, location of young alluvial fans, and general analysis of physical geographical conditions indicate that the range of mudflows in the mountainous areas of Cuba and other tropical regions is larger than that on the lowland of Habana–Matanas, where mudflows described were observed.