

21. WGMS and NSIDC. 1989, updated 2012. World Glacier Inventory. Compiled and made available by the World Glacier Monitoring Service, Zürich, Switzerland, and the National Snow and Ice Data Center, Boulder CO, U.S.A. doi: 10.7265/N5/NSIDC-WGI-2012-02.
22. Randolph Glacier Inventory – A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 3.2 // GLIMS Technical Report. 31 Aug. 2013. 42 p.
23. Paul F., Barrand N.E., Baumann S. et al. On the accuracy of glacier outlines derived from remote-sensing data // Ann. Glaciol. 2013. V. 54. P. 171–182.
24. The General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO). Digital Media, October 2010.
25. Ахромеев Л.М. Геоморфологический словарь-справочник. Брянск: Изд. БрянскГУ, 2002. 320 с.
26. Liu H., Jezek K., Li B. Development of Antarctic digital elevation model by integrating cartographic and remotely sensed data: A geographic information system based approach // Journ. of Geophys. Res. 1999. V. 104. P. 23199–23213.

Поступила в редакцию 26.08.2014

HYPSOGRAPHIC CURVE OF THE EARTH'S SURFACE WITH ICE AND WATER DELETED

S.V. POPOV

Summary

The distribution curve of the heights and hypsographic curve of the Earth were compiled on the basis of the current data on the surface elevation and the bedrock topography of our planet. The dataset included the satellite data, bathymetry data for the World Ocean and the bedrock topography of Greenland and Antarctica – the most important glaciers of our planet. The results show that taking into account the ice cover has a significant impact on the shape of the curves. The greatest differences are in the ranges of heights between 1500 and 4000 m and between –1000 and –200 m. According to calculations, the average altitude of the land surface and the stone surface is 800 m and 605 m, respectively.

Keywords: hypsographic curve, Earth surface elevation, bedrock of the Earth.

doi:10.15356/0435-4281-2015-4-85-90

УДК 551.435.627(234.9)

© 2015 г. С.В. ШВАРЕВ

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ДРЕВНЕГО КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ОПОЛЗНЯ В ДОЛИНЕ РЕКИ ПСЛУХ (ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

*Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, Институт географии РАН,
Москва, Россия; shvarev@ifz.ru, sergeyshvarev@mail.ru*

Введение

Проблема картографирования проявлений катастрофических склоновых процессов продолжает оставаться весьма актуальной, поскольку крупные оползни, сели, обвалы и их парагенетические комплексы – одни из основных агентов разрушения технических сооружений и гибели людей в горных районах при аномальных, преимущественно метеорологических или сейсмических явлениях. Их точное местоположение, тип, особенности развития служат определяющими параметрами для планирования и безопасной реализации различных видов хозяйственной деятельности.

Кроме того, детальная характеристика отдельных аномальных проявлений рельефообразующих процессов – ключ к пониманию режима и пространственной локализации факторов, влияющих на развитие оползней и селей, в т. ч. имеющих принципиальное значение для долгосрочной оценки опасности и риска, таких как интенсивность сейсмических сотрясений и расположение сейсмогенных структур.

Прогресс в картографировании опасных гравитационных и флювио-гравитационных процессов связан с технологическим совершенствованием средств дистанционного зондирования, обеспечивающим достаточную детальность в совокупности с широким пространственным покрытием. Значительное количество исследований, посвященных оценке развития оползней и селей, составлению карт опасности, риска, кадастрового учета проявлений рельефообразующих процессов, выполнено на основе повторных космических и аэросъемок, фиксирующих результаты катастрофических трансформаций рельефа после сильных землетрясений или катастрофических ливневых осадков. Серьезным ограничением таких исследований бывает время, прошедшее с момента образования деструктивных форм, поскольку ландшафтные изменения, в особенности в условиях гумидного климата, уже через несколько десятилетий скрывают под густой растительностью морфологические черты поверхности. Не является исключением и Кавказ, где древесная растительность в значительной степени маскирует элементы микро- и в существенной доле мезорельефа.

В такой ситуации незаменимо лазерное сканирование (LiDAR) с воздушного носителя, позволяющее выявить черты истинного рельефа без искажения поверхности за счет растительного покрова, присущего другим видам дистанционных данных – фото, сканерных и радиолокационных. Применяемые в настоящее время материалы LiDAR при оценке развития опасных процессов особенно эффективны для выявления скрытых, законсервированных и замаскированных растительным покровом форм без проявлений современной активности. Детальность материалов LiDAR, обеспечивающая картографирование с точностью до первых метров и даже десятков сантиметров как по горизонтали, так и по вертикали, дает возможность на базе морфологического анализа оценивать генетические и возрастные соотношения отдельных форм рельефа и их комплексов, что служит основанием для установления взаимосвязи рельефа с тектоническими нарушениями, проявлениями их активности и определения сейсмической опасности территории [1, 2].

Детальное картографирование оползневых и селевых проявлений

Характерный пример – развитие оползней и селей в бассейне руч. Пслушок (левый приток р. Пслух в 5 км выше по течению от впадения последней в р. Мзымту). Для этого бассейна, как и для всего района проведения Олимпийских игр 2014 г., перед началом активного антропогенного освоения было выполнено лазерное сканирование с синхронной крупномасштабной аэрофотосъемкой¹, позволившее выявить и детально проанализировать значительное количество как молодых активных проявлений гравитационных и флювио-гравитационных процессов, так и древних форм, зачастую имеющих весьма крупные размеры и играющих ключевую роль в формировании инженерно-геоморфологических условий территории.

При беглом взгляде на рельеф в районе слияния руч. Пслушок и р. Пслух бросается в глаза несоответствие параметров долин притока и основной реки: ширина днища долины последней существенно меньше таковой притока. Локальное расширение днища основной долины до 200–250 м прослеживается на протяжении нескольких километров ниже устья притока, постепенно сужаясь до нормальной для этой долины величины в 100–150 м. Необычное строение долины и ранее привлекало внимание

¹ Работы выполнены ЗАО “НИПИ ИнжГео”, г. Краснодар.

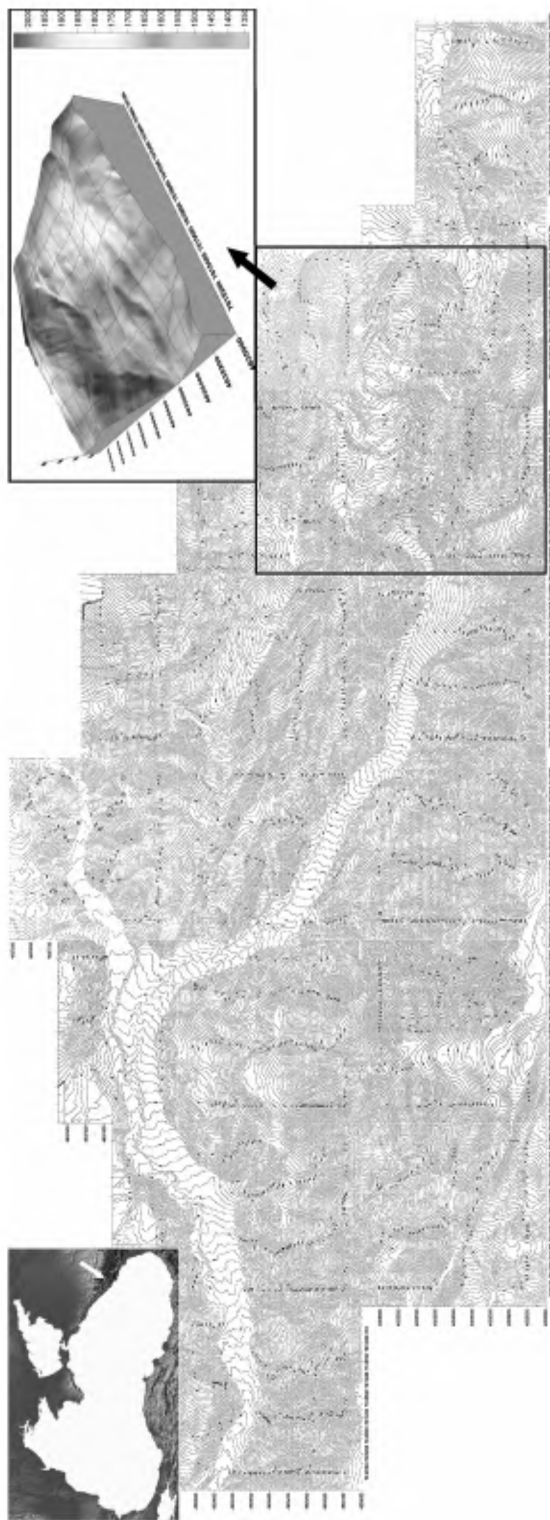


Рис. 1. Топографический план долины руч. Песлушок с сечением горизонталей 5 м, построенный по данным лазерного сканирования
На врезке – 3D-модель головной части оползня

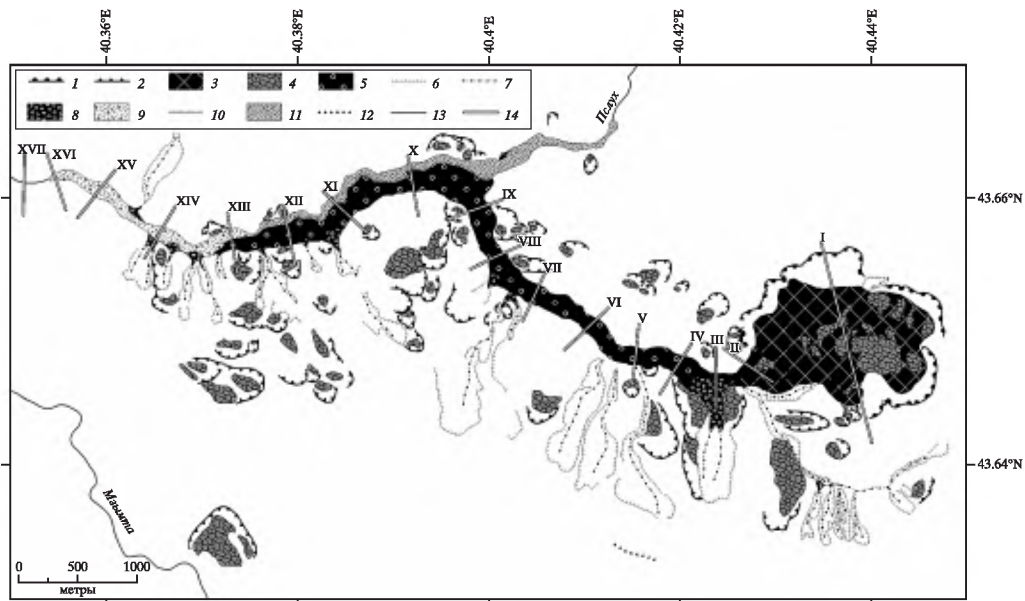


Рис. 2. Схема распространения селевых и оползневых проявлений в долине руч. Пслушонок
Бровки: 1 – стенки срыва главного оползня, 2 – прочих оползней; 3 – главное оползневое тело; 4 – отдельные оползевые тела и оползневые ступени в пределах главного оползня; 5 – поверхность главной глыбово-грунтовой (селевой) террасы; 6 – бровки селевых бассейнов; 7 – селевые русла (лотки); 8 – селевые конусы выноса; 9 – перемытая дистальная часть каменно-грунтовой террасы; 10 – эрозионный уступ; 11 – аллювиальная терраса р. Пслух; 12 – фрагменты селевых террас; 13 – обвальный уступ; 14 – поперечные профили (см. рис. 3)

исследователей [3], при этом его формирование связывалось с аномальным аллювиальным накоплением неясного генезиса (предположительно ледниково-подпрудного).

Проведенный анализ деталей мезо- и микрорельефа, выполненный на основе двумерных (2D), с различным сечением горизонталей, и трехмерных (3D) цифровых моделей рельефа (DEM) высокого разрешения (рис. 1), представляющих территорию в различных ракурсах и с различной степенью вертикального масштабирования, позволил в подробностях оконтурить в долине руч. Пслушонок многочисленные разномасштабные гравитационные проявления, часто парагенетически взаимосвязанные (рис. 2). Наиболее значительный из них – циркуобразный в плане сложный оползень, занимающий верховья долины ручья, с синдинамичным (по В.С. Федоренко [4]) каменно-грунтовым потоком, моделирующим днище долины на всем ее протяжении вплоть до слияния ручья с р. Пслух и вытягивающимся вниз по течению последней. Оползень и каменно-грунтовая терраса образуют, соответственно, “голову” и “язык” единого гравитационно-флювиального комплекса.

Площадь оползневого тела головной части комплекса составляет 1.1–1.2 км². Оползень несколько вытянут в широтном направлении на 1.4 км при поперечнике (с юга на север) около 0.9 км. Для оползневого тела характерны наличие серии ступеней, ориентированных длинными осями преимущественно в близмеридиальном направлении (ССВ, ССЗ), а также выраженная приподнятая осевая часть, вытянутая в субширотном (BCB) направлении вдоль всего оползневого тела при средней ее ширине около 400 м (рис. 3–1).

Анализ продольного и поперечного сечения оползня (рис. 3–1 и 3а) позволяет определить глубину захвата и мощность оползневого тела, предположительно достигающую в центральной части около 70 м, а на флангах – около 30–40 м. Объем опол-

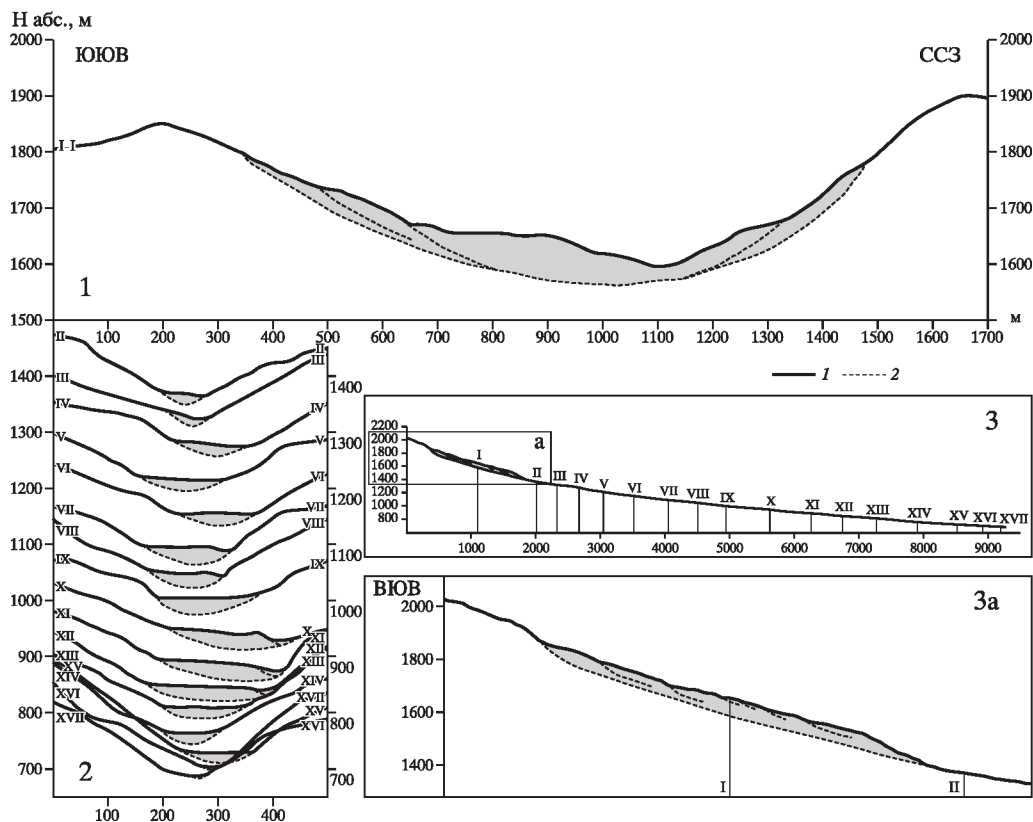


Рис. 3. Поперечные и продольные профили оползня и селевой (глибово-грунтовой) террасы
 Поперечные профили: 1 – через главный оползень (I), 2 – через глибово-грунтовую террасу; 3 – продольный профиль оползне-селевой ассоциации; 3а – фрагмент продольного профиля главного оползня.
 I – дневная поверхность, 2 – предполагаемое ложе оползня и террасы. Римские цифры – номера профилей

зневое тела, таким образом, составляет во фланговой зоне около $1.2 \times 10^7 \text{ м}^3$, в центральной – около $2.0 \times 10^7 \text{ м}^3$, а суммарно – около $3.2 \times 10^7 \text{ м}^3$.

По рассчитанным на основе DEM параметрам, оползень, безусловно, можно отнести к категории крупнейших явлений подобного рода, наблюдаемых в субэкранных условиях. В классификации В.Д. Ломтадзе [5] это ранг грандиозных оползней (от $2.0 \times 10^5 \text{ м}^3$). В последние годы, однако, для явлений такого уровня чаще употребляют названия мега- или гигантских оползней, да и пороговые значения для выделения грандиозных оползней несколько выросли: объем перемещенной массы от $1.0 \times 10^7 \text{ м}^3$ до миллиардов м^3 [6–8].

Латеральное смещение фрагментов оползня в проксимальной зоне (вблизи стенки срыва у восточного фланга) относительно исходной позиции составляет около 150 м, а в дистальной, судя по суммарной ширине межблоковых трещин, растяжение может достигать 500 м и более. Вектор основного смещения оползня ориентирован в ЗСЗ направлении ($280\text{--}290^\circ$), уклон ложа при этом составляет $12\text{--}15^\circ$.

В дистальной западной части оползневое тело сопрягается с поверхностью глибово-грунтовой (селевой) террасы. Судя по отложениям, сформировавший ее сель можно отнести к типу грязекаменных [9]. Однако значительное количество крупно-обломочного материала может свидетельствовать о том, что это образование является переходной формой между типичными селями и оползнями-потоками. Поэтому более

точным определением для данного объекта будет “глыбово-грунтовая терраса”, которую по генезису можно отнести к флювио-гравитационным формам. Терраса имеет четко выраженную продольную зональность (рис. 2, 3). Начальный участок (между поперечными профилями II и III) короткий (около 600 м) и узкий (до 80 м). Мощность осадков, судя по морфологии долины, может достигать 20 м.

Второй участок длиной 2.6 км вытянут до выхода в долину р. Пслух (между профилями III и IX). Он характеризуется достаточно равномерной шириной на всем протяжении (180–200 м). Мощность осадков здесь может достигать 20–30 м. Характерен поперечный перекося террасы с уклоном к правому (северо-восточному) борту долины. Очевидно, эта асимметрия связана с более активной денудацией левого борта долины (рис. 2), на котором, в отличие от правого борта, наблюдаются многочисленные селевые врезы, не компенсированные, за отдельными исключениями, аккумулятивными конусами, что свидетельствует о синхронности их развития с формированием главной террасы.

Третий участок террасы протягивается вдоль долины р. Пслух на 2.3 км (между профилями IX и XIII). На этом участке терраса вначале расширяется до 250–280 м в приустьевой части руч. Пслушонок, а затем постепенно сужается до 180–200 м. Правый (западный) фланг ее перебит в результате прорыва р. Пслух, подпруженной глыбово-грунтовой массой, с образованием эрозионного уступа высотой до 11–15 м, наиболее выразительного в районе устья руч. Пслушонок. Общая мощность отложенной террасы может достигать здесь 20–30 м.

Четвертый участок террасы протяженностью 1.9 км характеризуется постепенным сужением до 100–80 м. Мощность отложений здесь, по-видимому, не превышает 5–10 м. На этом участке уплощенная дистальная часть глыбово-грунтового шлейфа переформировывается под воздействием русловой деятельности р. Пслух.

Общая длина глыбово-грунтового потока, сформировавшего террасу, 7.2–7.4 км, ширина его колеблется от 80 до 280 м, мощность достигает 20–30 м. Уклон ложа долины, по которой распространялся поток, постепенно снижается от 7–8° в верхней части до 5° в нижней. Приблизительная оценка объема глыбово-грунтовой массы составляет около 11–12 млн м³.

В глыбово-грунтовой толще селевой террасы² в приустьевой части долины ручья на глубине 7 и 12 м обнаружены остатки деревьев, датированных 1120±60 л. н. (ИГРАН 3607) и 1280±60 л. н. (ИГРАН 3612), что позволяет отнести дату события, приведшего к оползневой подвижке и катастрофическому сходу глыбово-грунтового селя, к временному диапазону 830–950 г. н. э.

Обсуждение результатов

Анализ крупнейших обвально-оползневых смещений на Большом Кавказе [10] показывает, что их линейные размеры колеблются: в длину от 300 до 7000 м (в среднем 1500 м), в ширину от 100 до 4000 м (в среднем 750 м), а по объему составляют от 2 до 100 млн м³. Таким образом, по характеристикам оползневой части изученного парагенетического делянтивно-селевого комплекса он соответствует средним параметрам явлений из категории мега-оползней, свойственных территории Большого Кавказа. Сравнение объема селевой части комплекса с нормальными величинами транзита материала при этих процессах показывает, что его величина существенно превышает максимальные наблюдаемые показатели, характерные для Кавказа и присущие наиболее селеопасным рекам (2.4–3 млн м³ за один сель [11]). По совокупности как оползневой, так и селевой составляющих изученный комплекс обладает явной аномальностью по сравнению с оползнями и селями прилегающей территории.

Согласно статистическим данным [6], абсолютное большинство быстрых гигантских (или мега-) оползней произошло в результате воздействия одного из двух триг-

² Буровые работы выполнены ЗАО “НИПИ ИнжГео”, г. Краснодар.



Рис. 4. Схема геологического строения района развития катастрофического оползня

1 – поверхность главной глыбово-грунтовой (селевой) террасы; 2 – оползень; разрывные нарушения: 3 – главные, 4 – второстепенные (а – установленные по данным геологической съемки, б – предполагаемые под четвертичными отложениями); четвертичные отложения: 5 – аллювиальные позднеледниковые и толоценовые (галька, гравий, валуны); дочетвертичные нижне- и среднеледниковые известняки; 6 – аргиллиты и алевролиты; 7 – с прослоями базальтовых лав и туфов, 8 – с прослоями песчаников и туфов, 9 – с прослоями известняков; 10 – с прослоями известняков; 11 – туфы; 12 – лавы; 13 – граниты; 14 – основные реки

герных механизмов – обильных осадков или сильных землетрясений, причем первые являются причиной катастроф примерно в четыре раза чаще, чем вторые. Логично связать формирование изучаемого оползня с первым сценарием. Однако в данном случае характерные особенности подтверждают воздействие землетрясения как исходной причины. Известны два основных признака сейсмогравитационного происхождения обвально-оползневой массы [12]: 1) многократное превышение расстояния, на которое сместился материал, над обычным гравитационным (“эффект вибрирующего стола” по [13]); 2) переброс грунта через речные долины. В нашем случае имеется как аномальное смещение по долине на расстояние более 3 км, так и выброс в смежную долину с образованием мощной запруды (впоследствии частично размытой). Следует добавить, что смещение глыбово-грунтовых масс на расстояние более 5 км реализовано по руслу долины с уклоном, не превышающим 8° . Для достижения такого эффекта необходим дополнительный горизонтальный импульс, признаком которого в данном случае является направление смещения головного оползня (ЗСЗ), маркируемое как общим очертанием оползневого тела, так и последовательным расположением оползневых ступеней (сегментов) осевой части и северного фланга (рис. 2). Это направление соответствует ориентировке основных форм рельефа, структурно обусловленных отпрепарированными пликативными дислокациями, сопровождающимися сскадчатыми и постскадчатыми разрывами того же направления (рис. 4). Смещение оползневого тела, расположенного на склоне юго-западной экспозиции, реализовалось не по направлению максимального уклона (к ЮЗ и З), а с существенной составляющей вдоль склона на ЗСЗ. Характерно, что этому направлению соответствует простирание Главного Кавказского разлома [14], который трассируется в верховьях долины руч. Пелушонок непосредственно над головной частью оползня, а также субпараллельных разрывов более низких рангов, один из которых подрезает его основание (рис. 4). Совпадающая с этим направлением ориентировка долины руч. Пелушонок, очевидно, способствовала аномально протяженному перемещению каменно-грунтовой массы. Дополнительным подтверждением сейсмогенного характера подвижки является развитие оползня в зоне распространения более прочных пород чаталпинской свиты средней юры (переслаивание аргиллитов с туфами и базальтами) на фоне практически сплошных нижнеюрских аргиллитов, залегающих на прилегающих участках (лаурская, гузайская и бзерпийская свиты). Как убедительно показали японские ученые [15], проанализировавшие развитие оползней в одинаковых структурно-литологических и морфологических условиях непосредственно после интенсивных дождей и сильного землетрясения, обильные осадки при прочих равных условиях провоцируют оползневую деятельность преимущественно (с более чем двукратным количественным превышением) в глинистом субстрате, а сейсмогенное воздействие – в скальных породах.

Основные выводы

Первичный эрозионный рельеф верховьев и днища долины руч. Пелушонок кардинально преобразован за счет оползня и сопряженного каменно-грунтового потока. Формирование гигантского оползня объемом около 32 млн м^3 и мощностью до 70 м, сместившегося на 150–500 м в ЗСЗ направлении по ложу крутизной $12\text{--}15^\circ$, предположительно связано с сейсмическим импульсом, реализованным с азимутом $280\text{--}290^\circ$, произошедшим около 830–950 г. н.э. Судя по ориентировке оползня, землетрясение, по-видимому, связано с подвижкой по Главному Кавказскому разлому, плоскость которого выходит на оползневой склон. Одновременно с оползнем произошел выброс глыбово-грунтовой массы (11–12 млн м^3) вниз по долине руч. Пелушонок. Значительную долю объема сформированной террасы составил материал селей, сошедших по левому (южному) борту долины ручья. Глыбово-грунтовой поток заполнил днище долины руч. Пелушонок и долины р. Пелух ниже устья ручья, создал плотину, перекрывающую долину реки и впоследствии частично размытую, распространившись в целом на 7.2–7.4 км.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Шварев С.В. и др. Оценка уровня сейсмической опасности района Большого Сочи в связи со строительством олимпийских объектов // Геориск. 2008. № 4. Р. 6–12.
2. Ovsyuchenko A.N., Shvarev S.V., Marakhanov A.V. et al. Complex geological-geophysical study of active faults in the Sochi-Krasnaya Polyana region // Izvestiya Physics of the Solid Earth. 2013. T. 49. № 6. Р. 859–881.
3. Кочетов Н.И. К геоморфологии бассейна р. Мзымты (Западный Кавказ) // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 1970. № 6. С. 21–27.
4. Федоренко В.С. Горные оползни и обвалы, их прогноз. М.: Изд-во МГУ, 1988. 214 с.
5. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л.: Недра, 1977. 479 с.
6. Baoping W., Sijing W., Enzhi W., Jianmin Zh. Characteristics of rapid giant landslides in China // Landslides. 2004. № 4. Р. 247–261.
7. Strom A.L., Korup O. Extremely large rockslides and rock avalanches in the Tien Shan mountains, Kyrgyzstan // Landslides. 2006. № 3. Р. 125–136.
8. Korup O., Clague J.J., Hermanns R.L. et al. Giant landslides, topography, and erosion // Earth and Planetary Science Letters. 2007. № 261. Р. 578–589.
9. Перов В.Ф. Селевые явления. Терминологический словарь. 2-е изд., доп. М.: Изд-во МГУ, 2014. 72 с.
10. Жидков М.П. Условия возникновения крупных обвально-оползневых явлений на Большом Кавказе // Геоморфология. 2000. № 1. С. 73–82.
11. Геоморфология СССР. Горные страны Европейской части СССР и Кавказ. М.: Наука, 1974. 360 с.
12. Хромовских В.С., Солоненко В.П., Семенов Р.М., Жилкин В.М. Палеосейсмогеология Большого Кавказа. М.: Наука, 1979. 188 с.
13. Tazieff H. Interpretation des glissements des terrain accompagnant le grand seismic du Chili // Bul. Soc. Belge de Géologie. 1960. T. LXIX. Р. 374–384.
14. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Новая серия. М-б 1:200000. Лист К-37-V. Авторы В.А. Лаврищев, Н.И. Пруцкий, В.М. Семенов / Ред. Н.И. Пруцкий. СПб.: ВСЕГЕИ, ФГУГП “Кавказгеолсъемка” МПР России, 2002.
15. Yamagishi H., Iwahashi J. Comparison between the two triggered landslides in Mid-Niigata, Japan by July 13 heavy rainfall and October 23 intensive earthquakes in 2004 // Landslides. 2007. № 4. Р. 389–397.

Поступила в редакцию 20.01.2015

ANALYSIS OF THE PARAMETERS OF THE ANCIENT CATASTROPHIC LANDSLIDE IN THE VALLEY OF THE RIVER PSLUH (WESTERN CAUCASUS) USING LASER SCANNING DATA

S.V. SHVAREV

Summary

A detailed analysis of the relief structure and development of gravitational and fluvio-gravitational processes in a valley of the Mzymta river basin (Western Caucasus) was fulfilled using digital elevation models created on the basis of materials of laser scanning. We discovered and mapped a giant complex landslide with syndynamical block-and-ground flow. The genetic and age relationship of processes of various types and resulting landforms and sediments were determined.

The landslide has a volume of about 32 million m³, thickness up to 70 m; its body was displaced at a distance of 150–500 m to the WNW direction over the slip surface with inclination about 12–15°. The formation of the landslide we can presumably associate with the seismic impulse with an azimuth of 280–290°, which occurred about 830–950 A. D. Judging by the orientation of the landslide, the earthquake trigger can be a slip along the Main Caucasian fault. Simultaneously with the landslide the outburst of stone-ground mass down the valley of brook Pslushonok occurred (11–12 million m³). Mudflow material from the slopes of the left (southern) side of the valley constitutes a significant part of the volume of the terrace formed. The mudflow also filled the bottom of the Pslushonok valley and the part of the Psluh river valley below the mouth of the brook (the total length being 7.2–7.4 km) and created a dam across the Psluh valley, which was partly eroded after this event.

Keywords: LiDAR, DEM, a giant landslide, seismic impulse.

doi:10.15356/0435-4281-2015-4-90-98