

РАДИОУГЛЕРОДНОЕ ДАТИРОВАНИЕ ОПОЛЗНЕЙ В ГОРАХ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

DOI: 10.25296/1993-5056-2018-13-1-2-38-50

УДК 551.435.627: 550.93

**СЛЫШКИНА Е.С.***Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, lena.slyshkina@gmail.com***ВАСИЛЬЧУК Ю.К.***Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, vasilch_geo@mail.ru*

Аннотация

Проблема установления времени схода оползней, причин их активизации и прогноза в горах Западного Кавказа, особенно в районе Олимпийских объектов, является актуальной и до сих пор окончательно не решена. В связи с этим, авторы попробовали использовать радиоуглеродный метод для изучения оползней в верховьях долины р. Мзымта. В статье приводится обзор состояния современных исследований в области радиоуглеродного датирования, подробно описываются природные условия исследуемого региона, определяющие активное развитие опасных склоновых процессов, механизмы развития оползневых деформаций, методика отбора органического материала (древесины, гумуса) из различных элементов оползневого тела для ^{14}C датирования. Результаты радиоуглеродного анализа органического материала из оползневых отложений показывают, что наиболее молодые оползни распространены на южном склоне хр. Псехако и северном склоне хр. Аибга и датируются возрастом менее 200 и 400 лет назад и более 800 лет назад, а наиболее древний обвал и блоковый оползень на северном склоне хр. Аибга датируются возрастом 1750 и 1110 лет назад. На основании полученных результатов и изучения опубликованной литературы, сделано предположение о причинах активизации исследованных оползней и описаны сценарии их формирования. Предполагается, что основными причинами активизации небольших современных оползней послужили атмосферные осадки и, вероятно, сейсмические события.

Ключевые слова:

долина реки Мзымта; хр. Псехако; хр. Аибга; оползневые процессы; радиоуглеродное датирование; органический материал; триггерная зона оползнеобразования

Ссылка для цитирования:

Слышкина, Е.С., Васильчук, Ю.К., 2018. Радиоуглеродное датирование оползней в горах Западного Кавказа. Инженерная геология, Том XIII, № 1–2, с. 38–50. DOI: 10.25296/1993-5056-2018-13-1-2-38-50.

RADIOCARBON DATING OF LANDSLIDES IN THE WESTERN CAUCASUS MOUNTAINS

SLYSHKINA E.S.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, lena.slyshkina@gmail.com

VASIL'CHUK YU.K.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, vasilch_geo@mail.ru

Annotation

The problem of detecting the time for the occurrence of the landslides, the triggers for their activation and forecast in the mountains of the Western Caucasus, especially in the area of the Olympic facilities, is topical and has not yet been solved completely. In this connection, the authors tried to use the radiocarbon method to study landslides in the upper reaches of the Mzymta River valley. The article gives an overview of the latest research available in the field of radiocarbon dating, describes in detail the natural conditions of the investigated region, which determine the active development of dangerous slope processes, mechanisms for the development of landslide deformations, methods for selecting organic material (wood and humus) from various elements of landslide body for ^{14}C dating. The results of radiocarbon analysis of organic matter from landslide deposits show that the youngest landslides are common on the southern slope of the Psekhako Ridge and the northern slope of the Aibga Ridge and date back to less than 200 and 400 years BP and more than 800 years BP, and the most ancient landslide and block landslide on the northern slope of the Aibga Ridge and date back to 1750 and 1110 years BP respectively. Based on the obtained results and the literature review, an assumption is made regarding the reasons for the activation of the studied landslides and the scenarios for their formation are described. It is assumed that the main triggers for the activation of small modern landslides were precipitation and probably seismic events.

Key words:

Mzymta River valley; Psekhako Ridge; Aibga Ridge; landslide processes; radiocarbon dating; organic material; landslide trigger

For citation:

Slyshkina, E.S., Vasil'chuk, Yu.K., 2018. Radiocarbon dating of landslides in the Western Caucasus mountains. *Engineering Geology*, Vol. XIII, No. 1–2, с. 38–50. DOI: 10.25296/1993-5056-2018-13-1-2-38-50.

Введение

При инженерно-геологических исследованиях оползневой активности в горах Западного Кавказа, особенно в районе Олимпийских объектов, проблема опасности схода оползней является одной из ключевых. Важнейшим аспектом этой проблемы является разделение оползней на древние и молодые, приблизительно старше и моложе 1000 лет. Можно предполагать, что в районах с большим распространением молодых оползней опасность их возникновения несколько выше. Рассмотрение этого аспекта до настоящего времени велось скорее интуитивно, с учетом морфологии оползня, степени уплотненности материала внутри оползня, зрелости почвенного покрова или возраста деревьев на его поверхности. Оценки, получаемые на основании этих косвенных признаков, вполне естественно могут быть принципиально ошибочными, так как все названные факторы могут заметно варьировать даже в пределах оползней одного и того же возраста. В связи с этим у инженер-геологов, занимающихся динамикой и прогнозом оползней, уже давно возникла необходимость найти более точный метод определения их возраста, однако крайняя скудость палеонтологического материала в оползневых телах охлаждала даже самых смелых энтузиастов. Были попытки использовать анализ пыльцы из спор для относительной хронологии оползневых событий, однако это не дало возможность получить даже приближенные оценки оползней, потому что интуитивно большинство опытных инженер-геологов понимали, что основная часть оползней испытывала смещение

в течение последних тысяч, а может и сотен лет. Это побудило авторов попробовать использовать для изучения динамики оползней радиоуглеродный метод ^{14}C . На старте этого исследования наш энтузиазм поддерживал только достаточно серьезный опыт в оценке возраста оползней, накопленный российскими и зарубежными исследователями, основные достижения которых вкратце охарактеризованы ниже.

Опыт определения возраста оползней с помощью радиоуглеродного датирования

Анализируя опыт предшественников, использовавших ^{14}C метод датирования, можно утверждать, что молодые и древние оползни с успехом датируются по радиоуглероду органических остатков. Примером этого могут служить исследования А.Н. Овсюченко и др. [5]. Они применили метод радиоуглеродного датирования при изучении сейсмической активности и связанных с ней эпизодов оползнеобразования в верховьях бассейна р. Мзымта, датировав небольшой блоковый оползень Ш-16 в правом борту р. Мзымта, в районе устья р. Пслух по образцу палеопочвы, отобранному в тыловой части на поверхности оползневых отложений. Далее на северном склоне хр. Аибга А.Н. Овсюченко с соавторами изучили крупный блок-оползень Ш-14 по образцу горно-лесной почвы, накопившейся в бессточной котловине на поверхности. Полученные результаты указали на возраст событий 1055–1183 кал. лет (календарных лет) и 1102–1140 кал. лет соответственно.

Возраст образца палеопочвы, перекрывающей поверхность скального оползня Ш-9 в левом борту р. Мзымта (междуречье р. Монашки и р. Бешенки), и палеопочвы, накопившейся в основании наносов в бессточных котловинах на поверхности скального оползня Ш-8 на водоразделе р. Мзымта — р. Пслушенок датированы возрастом 645–795 кал. лет и 636–685 кал. лет [5]. Единичный образец палеопочвы, отобранный А.Н. Овсяченко и др. [5] из основания обвальных отложений Ш-10 в правом борту р. Монашка, датирован 697–798 кал. лет и указывает на максимальный возраст события. В целом факт попадания дат в узкий диапазон 650–800 лет назад может говорить о том, что все датированные оползни сошли одновременно при сейсмическом сотрясении.

Интересны исследования Кропоткина М.П., в которых он рассматривает вопросы возраста и периодичности наиболее распространенных крупных блоковых оползней Москвы, связанных с деформацией верхнеюрских грунтов. Автором на основе данных радиоуглеродного датирования образцов из тыловых оползневых западин сделаны выводы, что оползни сформированы в течение второй половины голоцена и что средняя продолжительность оползневого цикла около 800 лет [4].

Одной из полезных публикаций в области радиоуглеродного датирования оползней на территории Северного Кавказа можно считать работу Т. Панека (Pánek T.) с российскими коллегами О. Зеркалем, А. Стромом и др. [16]. Они исследовали очень большой оползень, площадью 32 км² с объемом смещенных пород 2,8 км³, в правом борту р. Кубань (п. Успенское). Смещение этого мегаоползня происходило в условиях малых перепадов абсолютных отметок по слабонаклоненной поверхности скольжения. Проведенные исследования указали как минимум на два этапа активизации процесса. Радиоуглеродный анализ деформированных почв и перекрывающих оползень лессовых грунтов свидетельствует о возможном формировании мегаоползня между 13 и 35 тыс. лет назад, хотя некоторые голоценовые даты, полученные методом оптической стимулируемой люминесцентной датирования и ¹⁴C AMS (ускорительная масс-спектрометрия) датировка по угольку 230 ± 80 лет, могут указывать на неоднократную активизацию оползневой деятельности в пределах мегаоползня. Причину активизации оползневого процесса трудно установить, но Т. Панек и др. предположили, что влажный климат позднего плейстоцена в совокупности с крупным сейсмическим событием в районе Казминского разлома стали причиной оползнеобразования [16].

В противовес очень слабой хронологической изученности оползней в нашей стране в мире накоплен большой опыт определения возраста оползней с применением ¹⁴C анализа органического материала внутри тела оползня, на его поверхности и в подстилающих грунтах. Причем наряду с традиционным радиоуглеродным датированием по большим органическим остаткам с применением сцинтилляционного счетчика широко используется датирование с помощью AMS мини- и микровключений органики из различных элементов оползневых тел.

Например, для изучения активности трех больших оползней, образовавшихся в 50 км от крупного разлома в Южных Альпах (Новая Зеландия, Северный Фьордленд) Г. Хэнкок (Hancox G.T.) с коллегами применили радиоуглеродное датирование образцов органического мате-

риала — торфяного грунта, почвы, древесных листьев, коры, обломков и кусков древесины, отобранных из верхней, средней и нижней части оползневых тел. Показано, что в интервале между 5,5–7,5 тыс. лет назад мощные сейсмические события, вызванные движениями по Альпийскому разлому, активизировали оползневые процессы [13].

Для оценки динамики крупного оползня Колдсайд в Дербишире, Великобритания, А. Редда (Redda A.) и Дж. Хансом (Hansom J.D.) выполнили радиоуглеродное датирование фрагментов угля из языковой части оползня и базального торфа в присклоновой депрессии [17]. Здесь оползневая активность продолжалась по крайней мере в течение 300 лет, начавшись около 5860 лет назад и закончившись около 5560 лет назад.

При исследовании оползня-дамбы Чиронико в центральной части горной долины Левентина (Центральные Альпы, Швейцария) М. Антониони (Antognini M.) с соавторами [9] датировали органические остатки (древесные фрагменты) из подпрудного озера, а также органику, отобранную из тела оползня при бурении скважин. При интерпретации данных выяснилось, что оползень активизировался в бёллинг-аллерёдском периоде около 13000 кал. лет до н.э., а причиной послужила сейсмическая активность в регионе [9].

Во время проведения работ по реконструкции автомобильной дороги в центральной части Берегового хребта в Орегоне, где коренные породы представлены турбидитовыми отложениями, Ч. Хаммонд (Hammond C.M.) и др. [12] изучили динамику древних оползней, датировав 8 образцов древесины, и выяснили, что около 5100–5115 ¹⁴C лет назад причиной активизации оползневых процессов стали палеоземлетрясения.

Для реконструкции недавней истории оползневых деформаций в бассейне Хальден Крик, М. Гертсима (Geertsema M.) с соавторами [11] осуществили радиоуглеродное датирование стволов деревьев и обломков древесины внутри и под оползневыми отложениями, а также деревьев, затонувших в запруженных оползнями озерах. Древесина датирована от современности до 965 ± 49 ¹⁴C лет назад, здесь оползни — это реакция на климатические изменения в течение последней тысячи лет.

Особенно важен для разработки методики изучения оползней разных возрастов и масштабов совсем недавний опыт исследования оползней в штате Вашингтон, где около 11 часов утра 22 марта 2014 г. произошла крупнейшая природная катастрофа: неподалеку от населенного пункта Осо округа Снохомиш сошел оползень мощностью 54 метра. Детальное радиоуглеродное датирование показало, что в данном районе наряду с древними, возрастом более 11 тыс. лет, существуют и очень молодые оползни, возрастом 140–230 лет. Радиоуглеродное датирование позволило А. Буту (Booth A.) и С. Лахузину (LaHusen S.) с соавторами наметить районы преимущественного расположения молодых оползней (моложе 300 лет). По мнению авторов, оползневой комплекс либо сформировался единовременно, или несколько событий произошли близко во времени — около 230 лет назад [10]. Также было установлено, что гигантские оползни, образовавшиеся в голоцене, до сих пор обладают потенциалом к движению в долине реки близ Осо, и опасность оползней здесь будет существовать так долго, как будет продолжаться речная боковая эрозия [15].

Природные условия региона

Исследования оползней проводились в нижней и средней части южного склона хр. Псехако и северного склона хр. Аибга (рис. 1), в бассейне р. Мзымта (Западный Кавказ).

Определяющее воздействие на развитие оползней в пределах изучаемых склонов оказывают географическое положение, климатические, геоморфологические, тектонические и сейсмические условия, которые по отдельности или в совокупности прямо или косвенно приводят к уменьшению прочностных показателей свойств грунтов, изменению напряженно-деформированного состояния массива грунта и активизации оползневых процессов.

Контрастный рельеф поверхности и близость теплого Черного моря создают предпосылки для формирования на этой территории своеобразного климата. Расположение горной системы Большого Кавказа на пути преобладающего здесь переноса влажных воздушных масс с запада на восток благоприятствует выпадению на её юго-западном макросклоне обильных атмосферных осадков.

Атмосферные осадки (как жидкие — затяжные ливневые дожди, так и твердые — мощные снежные покровы) и снеготаяние являются одной из важнейших причин активизации оползней в совокупности с наличием большого количества суглинистых и глинистых грунтов, которые заметно уменьшают свои прочностные показатели при увлажнении [6]. Наглядным примером может служить крупная природная катастрофа, произошедшая в районе олимпийских объектов на северном склоне хр. Аибга в районе канатной дороги (крупного туристического объекта) 30 мая 2017 г. Одномоментный сход большого консеквентного оползня сдвига объемом около 250 тыс. м³ разрушил горнолыжную трассу канатной дороги, перекрыл транспортный доступ к объектам инфраструктуры и привел к человеческим жертвам. Климатические особенности мая 2017 г. — снеготаяние (при высоте снежного покрова 176 мм на начало таяния) и затяжные дожди с 14 мая по 25 мая (140 мм) явились непосредственной причиной активизации процесса. Перечисленные факторы привели к повышению уровня подземных вод, увеличению водообильности водоносных горизонтов и совместно с антропогенной нагрузкой, изменению напряженно-деформированного состояния оползневого массива.

Современный геоморфологический облик долины р. Мзымта (на субширотном участке), в левом и правом борту которой расположены исследованные оползневые тела, определяется совместным действием тектонических и эрозионно-денудационных процессов. Тектоническая деятельность выражается в общем воздымании территории и определяет дислоцированность и раздробленность отложений, а действие эрозионно-денудационных процессов ведет к сильной гипсометрической расчлененности территории и повсеместному распространению оползней [7].

Район характеризуется и широким развитием разрывных тектонических нарушений (Аибгинский, Эстосадокский, Мзымтинский и другие разломы). При полевых сеймотектонических исследованиях А.Н. Овсюченко и др. было установлено, что наиболее опасными с сейсмической точки зрения является Мзымтинская депрессия в верховьях р. Мзымта, где наиболее яркие проявления обнаружены в зоне Краснополянского разлома. В зоне Эстосадокского разлома при помощи постоянных инструментальных сейсмологических наблюдений были зафиксированы: 1) эпи-



Рис. 1. Обзорная карта района исследования с основными разломами и опробованными оползнями в долине р. Мзымта: черные кружки — места расположения датированных оползней и их номер; активные разломы: А — Аибгинский, Б — Бекишейский, Мз — Мзымтинский, Э — Эстосадокский; красная линия с бергштрихами — сброс (бергштрихи направлены в сторону опущенного крыла), красные сплошные линии — преимущественно сдвиги [5]

центр землетрясения 28.01.1909 г. с магнитудой 4,3 и глубиной гипоцентра 7 км, в 8 км северо-западнее изученной территории; 2) эпицентр землетрясения 13.05.1968 г. с магнитудой 4,5 и глубиной гипоцентра 15 км, в 27 км юго-восточнее района изучения [3].

Совокупность описанных выше условий района исследования, а именно: резкая расчлененность рельефа, климатические особенности, близкое расположение сейсмогенерирующих разломов и сейсмичность обусловили активное развитие оползней и оползне-обвальных явлений разного возраста и масштаба.

Исследованные оползневые отложения и методика полевого отбора образцов

Руководствуясь полученным ранее опытом исследования оползней и анализом опубликованных материалов по радиоуглеродному датированию в 2015–2016 гг. авторы сделали попытку детального обследования южного склона хр. Псехако и северного склона хр. Аибга для изучения и ¹⁴C опробования нескольких оползневых тел.

Одним из первых в 2015 г. авторами исследован асеквентный оползень 15-С1 в центральной части южного склона хр. Псехако на абсолютных отметках 898–923 м (см. рис. 1). Бровка срыва оползневого тела замыта и слабо выражена в рельефе. Поверхность оползневых отложений покрыта травяной растительностью, подлеском, высокими соснами и дубами. Объем смещенных масс горных пород достигает ~ 13 тыс. м³ при ширине оползня 45 м и длине 60 м. Мощность оползневых отложений изменяется от 2 м в прибортовой части до 6–10 м в теле. Поверхность скольжения приурочена к делювиальным дресвяно-щебенистым грунтам с суглинистым заполнителем (рис. 2, а). Наличие нормально развивающейся растительности и отсутствие поверхностных деформаций и трещин, оконтуривающих оползень, свидетельствуют о длительной стабилизации.

Следующий изученный в 2015 г. консеквентный оползень 15-С2, с объемом вовлеченных в смещение горных пород ~ 6,5 тыс. м³, находится в нижней части северного склона хр. Аибга (см. рис. 1) на абсолютных отметках 585–600 м. Его протяженность по направлению смещения составляет 20 м, ширина 40 м, а видимая мощность отложений, вскрытых эрозионным врезом, изменяется от 3,2 до 3,9 м. Предполагаемая поверхность смещения оползневого тела находится в элювиальных темно-серых суглинках и глинах (рис. 2, *b*) на глубине 10–12 м от поверхности [2]. Поверхность оползневого тела залесена, свежие трещины растяжения отсутствуют. Оползень находится в состоянии длительной стабилизации.

В 2016 г. исследования были продолжены и в центральной части южного склона хр. Псехако. На абсолютных отметках 1234–1207 м изучен асеквентный оползень 16-С3 (см. рис. 1). Оползень двигался в сторону безымянного правобережного притока р. Мзымта. Эрозионный врез пересекает склон хребта в южном направлении. Языковая часть оползня вскрыта в эрозионном врезе. Бровка срыва достигает в высоту 3,5 м и хорошо читается в рельефе (рис. 3). Она вскрывает делювиальные грунты с единичными глыбами диорита, снесенными с более высоких абсолютных отметок. Объем вовлеченных в смещение пород составляет ~ 150 тыс. м³, ширина оползня достигает 120 м, а его длина — 80 м. Мощность отложений изменяется от 0,5 м в прибортовой части и до 15 м в теле оползня. Поверхность скольжения располагается в делювиальных дресвяно-щебенистых грунтах с суглинистым заполнителем (рис. 2, *c*). В языковой части оползня хорошо просматривается гумусовый горизонт, погребенный во время активизации опасного склонового процесса. На поверхности оползневого тела наблюдается множество поваленных деревьев, свежие трещины растяжения отсутствуют, что свидетельствует о временной стабилизации оползневых процессов.

Ниже по течению безымянного притока р. Мзымта на абсолютных отметках 1093–1068 м обследован большой асеквентный оползень 16-С5 (см. рис. 1). Бровка срыва оползневого тела замыта и слабо выражена в рельефе. Поверхность оползневых отложений покрыта травяной растительностью, подлеском и высокими, столетними соснами и дубами. Объем смещенных масс горных пород достигает ~ 290 тыс. м³ при ширине 160 м и длине 120 м. Вскрытая мощность оползневых отложений эрозионным врезом составляет 1,2 м, предполагаемая мощность в теле оползня — 12–15 м. Наличие нормально развивающейся растительности и отсутствие поверхностных деформаций и трещин, оконтуривающих оползень, свидетельствует о его длительной стабилизации. В прибортовой части оползневое тело подстилается болотными отложениями мощностью 0,6 м и ниже по разрезу более древними оползневыми отложениями 16-С6 (рис. 4, *b*). Предполагаемый объем смещенных горных пород ~ 1,2 млн. м³. Бровка срыва оползня 16-С6 перекрыта более современными оползневыми отложениями. Его поверхность морфологически изменена склоновыми процессами, эродирована развитой дренажной системой и покрыта густой растительностью схожей с растительностью на прилегающих ландшафтах. Отсутствие недренированных депрессий и подпруд указывает на их вскрытие притоками дренажной системы и осушение на более ранних этапах формирования морфологического облика поверхности

оползня. Описанные морфологические изменения свидетельствуют о зрелости и длительной стабилизации.

На заключительном этапе полевых работ 2016 г. в центральной части северного склона хр. Аибга на абсолютных отметках 904–782 м (в непосредственной близости от Аибгинского разлома) изучен и опробован очень большой блоковый оползень 16-С4 (см. рис. 1). Оползневые отложения состоят из грубообломочного, плохоокатанного, несортированного материала. Наиболее часто в них встречаются глыбы порфирита, которые достигают в поперечнике 5–6 и более метров, и менее часто — обломки туфобрекчии и песчаника. Ниша отрыва представляет собой крутой обрыв высотой ~ 60 м и шириной ~ 260 м, покрытый слоем делювиально-осыпных отложений, редкой кустарниковой и древесной растительностью. В бровке срыва обнажается глыбовый грунт с суглинистым заполнителем. Данный факт указывает на формирование оползня 16-С4 в обвальных отложениях, сместившихся в долину р. Мзымта на более ранних этапах (рис. 4, *a*). Объем вовлеченных в оползание горных пород ~ 3,5 млн. м³, протяженность оползневого тела 16-С4 по направлению смещения ~ 290 м, ширина ~ 270 м, мощность отложений ~ 90–120 м. Блоковый оползень частично перекрыт осыпными отложениями в виде мелкого обломочного материала и крупными глыбами, вывалившимися и переместившимися из ниши отрыва на поверхность оползневых отложений. Поверхность оползня заросла кустарником и древесной растительностью. Подсчитав годовичные кольца на спилах деревьев, мы оценили их возраст в 200–250 лет. Современные осыпные процессы не отмечены. Огромные обвальные глыбы на поверхности тела оползня покрыты тонким почвенным слоем и мхом. На поверхности глыб произрастают молодые деревья. В бортах оползневое тело вскрывается разветвленной дренажной системой. Все это указывает на давность и однократность события.

Методика полевого отбора образцов

Изучив опубликованные материалы по радиоуглеродному датированию и основываясь на собственных данных, полученных в ходе полевых работ [2, 6, 7], авторы произвели серийный отбор органического материала из различных геоморфологических элементов оползня для ¹⁴C датирования с учетом климатических и геолого-географических особенностей района исследования.

Для увеличения доверия к определению возраста оползня, основанному на ¹⁴C определениях, объект должен быть датирован с использованием органического материала, который накопился до оползания, и того, который накопился после оползания. Например, органические остатки или торф, накопившиеся в понижениях на поверхности оползня или в подпрудных озерах, указывают на минимальный возраст события или возможный возраст реактивизации. На максимальный возраст события указывают гумусовый горизонт или сохранившиеся стволы деревьев, захороненные под оползнем, когда его языковая часть надвигается на дневную поверхность. На непосредственный возраст оползневого события могут указывать органические остатки, вовлеченные внутрь сползшей массы при движении. При этом внутрь оползня может быть вовлечен разновозрастный материал: к возрасту оползня ближе всего наиболее молодые даты. Там где материалы предоставляют только макси-

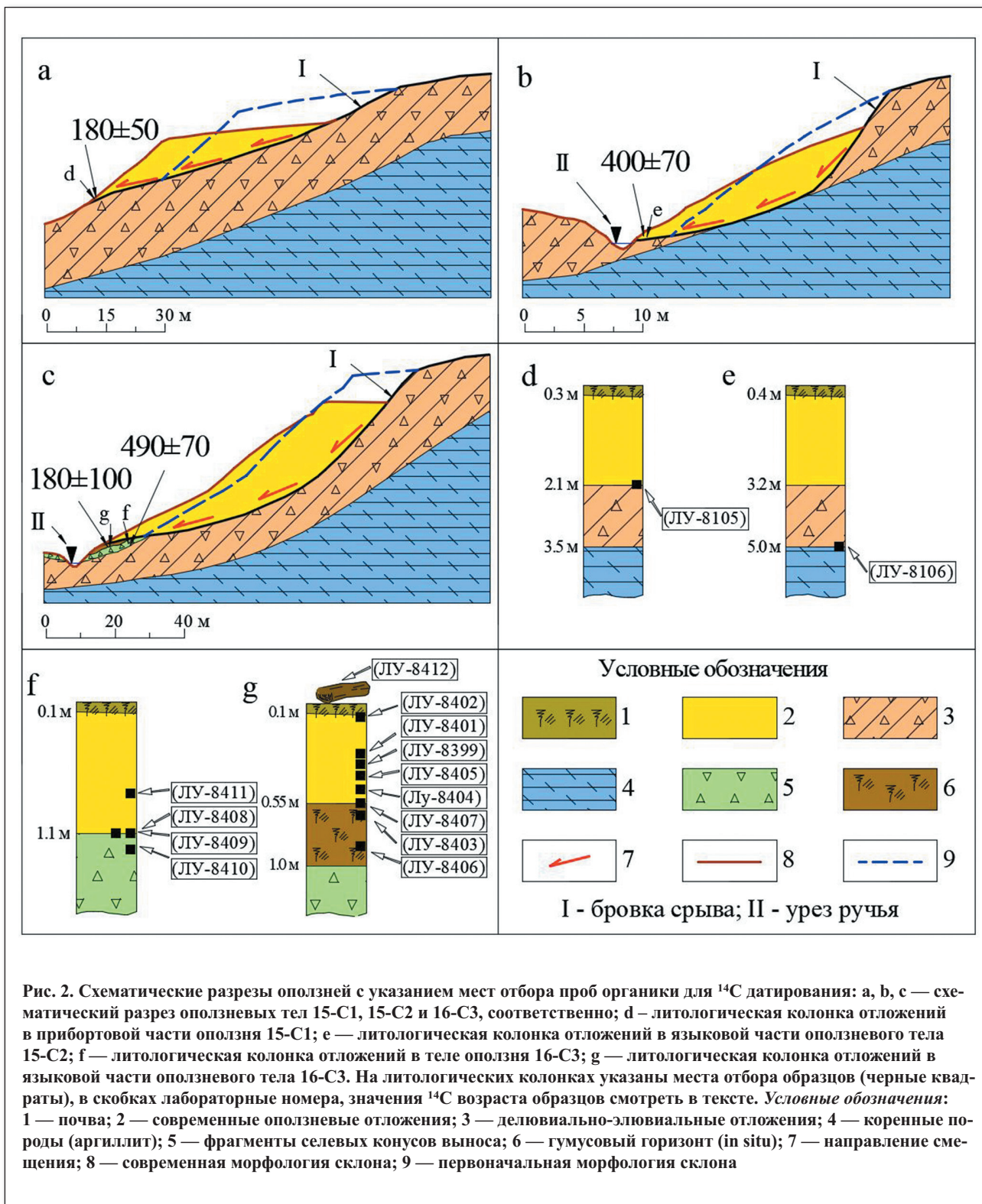


Рис. 2. Схематические разрезы оползней с указанием мест отбора проб органики для ^{14}C датирования: а, б, с — схематический разрез оползневых тел 15-С1, 15-С2 и 16-С3, соответственно; д — литологическая колонка отложений в прибортовой части оползня 15-С1; е — литологическая колонка отложений в языковой части оползневого тела 15-С2; ф — литологическая колонка отложений в теле оползня 16-С3; г — литологическая колонка отложений в языковой части оползневого тела 16-С3. На литологических колонках указаны места отбора образцов (черные квадраты), в скобках лабораторные номера, значения ^{14}C возраста образцов смотреть в тексте. Условные обозначения: 1 — почва; 2 — современные оползневые отложения; 3 — делювиально-элювиальные отложения; 4 — коренные породы (аргиллит); 5 — фрагменты селевых конусов выноса; 6 — гумусовый горизонт (in situ); 7 — направление смещения; 8 — современная морфология склона; 9 — первоначальная морфология склона

мальный или минимальный возраст, схожесть возрастов из различных независимых образцов увеличивает доверие предоставленному ими возрасту оползня. В общем, наименьший максимальный и/или старейший минимальный возраст должны лучшим образом представлять возраст оползня. Однако в случаях, когда возраст оползня представлен одним образцом, радиоуглеродное датирование очень приблизительно отражает время обрушения. Датирование оползневых событий по единичным образцам уменьшает степень доверия к полученному возрасту из-за возможного изменения соотношения изотопов в образце за время его существования, то есть об-

разец может быть загрязнён углеродсодержащими материалами (современной растительностью, атмосферным CO_2 , грунтовыми водами, содержащими органический и неорганический углерод) более позднего или более раннего происхождения [19]. Это особенно актуально для горных районов со значительными перепадами рельефа, с большим количеством атмосферных осадков и высокой интенсивностью склоновых процессов, что способствует постоянному переносу материала вниз по склону и его переотложению, а следовательно, и уменьшению доверия к возрасту, полученному по единичным образцам.

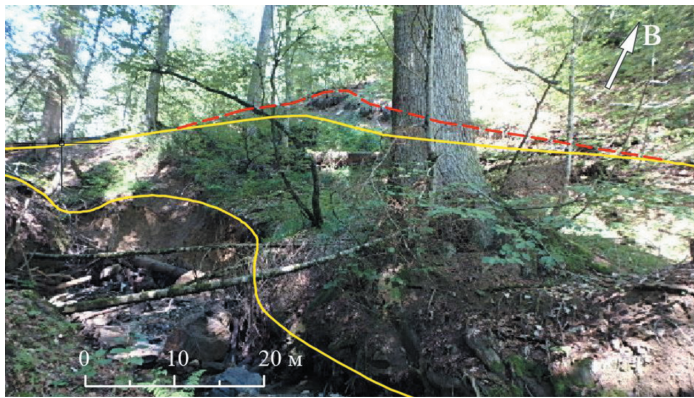


Рис. 3. Оползень 16-С3. Красной пунктирной линией показана бровка срыва, желтой сплошной линией — граница оползневого тела

Исходя из описанных выше положений, наша методика основывается на вариативности возраста внутри групп тщательно отобранного разнообразного органического материала и позволяет увереннее датировать оползни. Она опробована во время летнего полевого сезона 2016 г. на наиболее представительных оползневых телах в точках 16-С3, 16-С4, 16-С5, 16-С6 (см. рис. 1).

Первые попытки отбора образцов органики были сделаны в 2015 г. при опробовании двух оползневых тел 15-С1, 15-С2. В прибортовой части оползня 15-С1, после зачистки сверху вниз встречены (рис. 2, d): 1) почва (0,0–0,3 м); 2) коричневые, серо-коричневые оползневые древесно-щебенистые грунты с суглинистым заполнителем (0,3–2,1 м); 3) коричневые делювиальные древесно-щебенистые грунты с суглинистым заполнителем и обломками аргиллита (2,1–3,5 м); 4) темно-серые, черные аргиллиты, вскрытая мощность 0,4 м. В подошве оползневых отложений отобран полурасложившейся кусок древесины, лабораторный номер ЛУ-8105, погребенный во время смещения масс грунта вниз по склону. Внешне угловатый фрагмент полурасложившейся древесины сильно поврежден, обломан, без следов окатывания, ломкий.

При отборе органического материала в языковой части оползневого тела 15-С2 проводилась зачистка обнажения. В верхней части разреза (см. рис. 2, e) в интервале глубин 0,4–3,2 м обнаружена перемятая оползневая толща (древяно-щебенистый грунт с суглинистым заполнителем и глыбами коренных пород аргиллита), перекрытая горизонтом почвы мощностью 0,4 м. Ниже, в интервале глубин 3,2–5,0 м залегают темно-серые элювиальные суглинки и глины, подстилаемые темно-серым и черным аргиллитом вскрытой мощностью 1,2 м. На контакте оползневых и элювиальных отложений отобран фрагмент ствола дере-

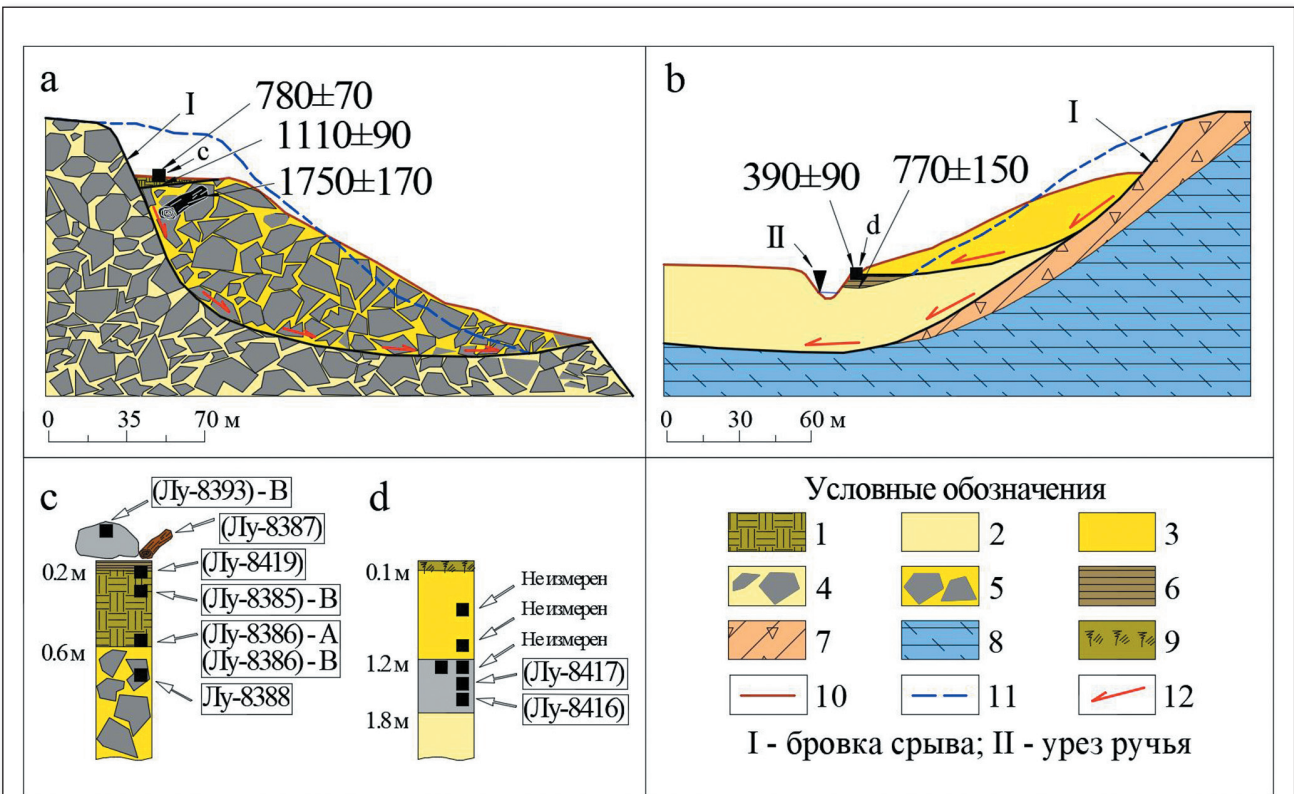


Рис. 4. Схематические разрезы оползней с указанием мест отбора проб органики для ¹⁴C датирования: а, б — схематический разрез оползневых тел 16-С4 и 16-С5, 16-С6, соответственно; с — литологическая колонка отложений в тыловой части оползня 16-С4; d — литологическая колонка отложений в борту оползневого тела 16-С5 и 16-С6. На литологических колонках указаны места отбора образцов (черные квадраты), в скобках лабораторные номера, значения ¹⁴C возраста образцов смотреть в тексте. Условные обозначения: 1 — бурые горно-лесные почвы; 2 — древние оползневые отложения; 3 — современные оползневые отложения; 4 — обвальные отложения; 5 — оползнево-обвальные отложения; 6 — болотные отложения; 7 — делювиально-элювиальные отложения; 8 — коренные породы — аргиллит; 9 — почва; 10 — современная морфология склона; 11 — первоначальная морфология склона; 12 — направление смещения

ва ЛУ-8106. Обломок разложившегося ствола дерева обломан, угловат и легко ломается. Отсутствие следов окатанности в водной среде свидетельствует о том, что образец не переоткадывался и не сносился вниз по склону.

В 2016 г. при опробовании большого оползневого тела 16-С3 в качестве основных элементов датирования были выбраны поверхность, тело и языковая часть оползня. Оползневое тело вскрывается в двух естественных обнажениях, образованных боковой эрозией правобережного притока р. Мзымта, где сверху вниз в языковой части оползневого тела описаны (см. рис. 2, г): 1) почва (0,0–0,1 м); 2) оползневые дресвяно-щебенистые грунты с суглинистым заполнителем (0,1–0,55 м); 3) гумусовый горизонт — погребенный органический материал *in situ* (0,55–1,0 м); фрагменты селевых конусов выноса (1,0–1,6 м) — суглинки щебенисто-глыбовые, с большим включением обломочного древесного материала. В соседней зачистке (см. рис. 2, ф) в теле оползня сверху вниз вскрываются: 1) почва (0,0–0,1 м); 2) оползневые дресвяно-щебенистые грунты с суглинистым заполнителем (0,1–1,1 м); 3) суглинки щебенисто-глыбовые, с большим включением обломочного древесного материала (1,1–1,9 м) — фрагменты селевых конусов выноса. Органический материал отбирался из всех вскрытых горизонтов.

В процессе опробования на глубине 0,1 м от поверхности, на контакте почвенного слоя и оползневых отложений, отобрана полуразложившаяся обломанная древесная ветка ЛУ-8402. В интервале глубин 0,3–0,5 м в современных оползневых отложениях обнаружены неокатанные обломанные древесные ветки ЛУ-8401, ЛУ-8399, ЛУ-8400, вовлеченные в перемещение масс грунта вниз по склону, а на глубине 0,4 и 0,5 м — угловатая полуразложившаяся неокатанная древесина ЛУ-8405, ЛУ-8404 (рис. 5). На глубине 0,55 м в кровле гумусового горизонта взята проба ЛУ-8407 для датирования по рассеянной органике. Ниже по разрезу на глубине 0,6 и 0,7 м также отобраны образцы ЛУ-8403, ЛУ-8406 древесины. В соседнем обнажении, вскрывающем тело оползня, на глубине 0,65 м обнаружена обломанная древесная ветка ЛУ-8411 в суглинистой оболочке. Ниже по разрезу в подошве оползневых отложений на глубине 1,1 м отобраны фрагменты неокатанных сильноразложившихся стволов деревьев ЛУ-8408, ЛУ-8409, которые укажут на максимальный (наименьший) возраст события. При опробовании селевых отложений на глубине 1,2 м взята проба угловатой разложившейся древесины ЛУ-8412, а на поверхности оползневого тела — из сильно разложившегося поваленного дерева ЛУ-8410.

В качестве основного элемента радиоуглеродного датирования очень большого оползневого тела 16-С6 выбрана древняя поверхность оползня, погребенная под болотными бессточными отложениями и более молодыми оползневыми 16-С5. Отбор органического материала осуществлялся из естественного обнажения, образованного боковой эрозией правобережного притока р. Мзымта и вскрывшего отложения, накопившиеся на древней поверхности оползня. В обнажении сверху вниз обнаружены (см. рис. 4, д): 1) почва (0,0–0,1 м); 2) современные оползневые отложения, представленные дресвяно-щебенистыми грунтами с суглинистым заполнителем (0,1–1,2 м); 3) болотные отложения — глина серо-коричневая тугопластичная, с включением органики (1,2–1,8 м); 4) древние оползневые отложения — суглинок дресвяно-

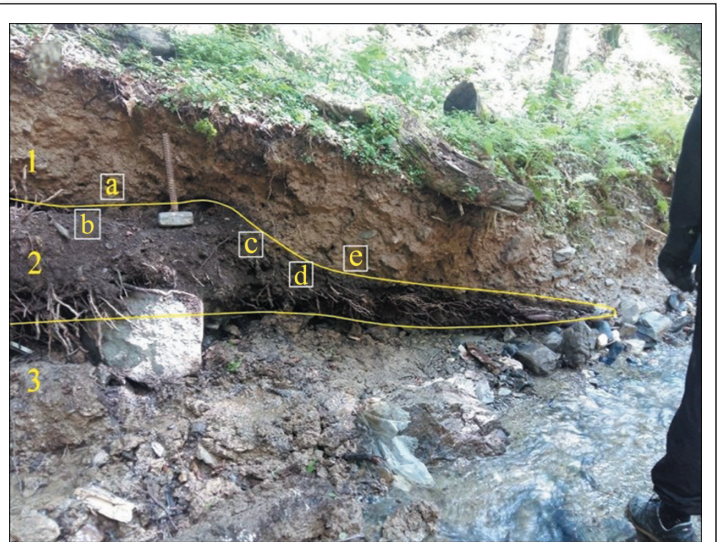


Рис. 5. Погребенный гумусовый горизонт под языковой частью оползня 16-С3, точки, в которых извлекался органический материал для ^{14}C датирования. Сверху вниз вскрываются: 1 — оползневые отложения; 2 — гумусовый горизонт; 3 — фрагменты селевых конусов выноса. Буквами обозначены места отбора образцов: а — древесина (лаб. номер ЛУ-8405); б — гумус *in situ* (лаб. номер ЛУ-8407); с — древесина (лаб. номер ЛУ-8403); d — древесная ветка (лаб. номер ЛУ-8406); е — древесина (лаб. номер ЛУ-8404)

щебенистый твердый с редкими глыбами (вскрытая мощность 1,8–2,6 м). Серийный отбор проб органического материала осуществлялся из всех горизонтов.

На глубине 0,5 и 1,0 м в современных оползневых отложениях вскрыты полуразложившиеся древесные листья. Ниже по разрезу в интервале глубин 1,5–1,7 м в бессточных болотных отложениях отобраны полуистлевшие древесные веточки в глинистых оболочках ЛУ-8417 и неокатанный, угловатый, рассыпающийся фрагмент древесины ЛУ-8416, которые укажут на минимальный возраст оползневого события. При опробовании горизонта древних оползневых отложений на глубине 2,0 м обнаружены уголки древесины, которые вероятнее всего указывают на непосредственный возраст оползневого события.

При опробовании очень большого оползня в точке 16-С4 в качестве основных элементов датирования выбраны поверхность и тело оползня. В его тыловой части, в замкнутой котловине, где наиболее часто накапливается торф, почвы или органические остатки (материал, который начал скапливается после схода оползня и указывает на его минимальный возраст) заложен шурф (рис. 6), вскрывший сверху вниз: 1) суглинок легкий пылеватый серо-зеленого цвета, мягкопластичной консистенции, слоистый (0,0–0,2 м) — болотные отложения; 2) бурые горно-лесные почвы (0,2–0,6 м) темно-серого цвета, с большим содержанием рассеянной органики; 3) глыбовый грунт с суглинистым заполнителем светло-коричневого цвета твердой консистенции (0,6–2,6 м) — оползневые отложения. При проходке шурфа отработывалась методика серийного отбора образцов органического материала из блокового оползня в точке 16-С4, для увеличения доверия к полученному возрасту оползневого события, так как существует возможность омоложения или удреждения органического материала за счет привноса в образец более молодого или более древнего углерода [19].

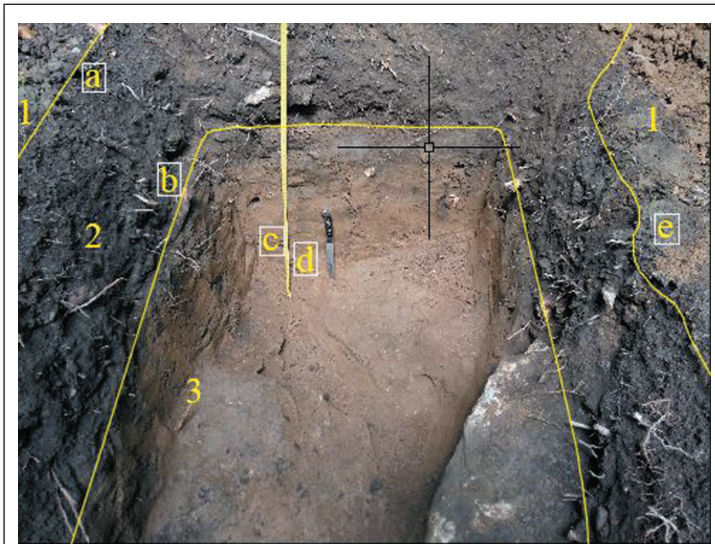


Рис. 6. Шурф в тыловой части блокового оползня 16-С4, точки, в которых извлекался органический материал для ^{14}C датирования. Сверху вниз вскрываются: 1 — болотные отложения; 2 — бурые горно-лесные почвы; 3 — оползневые отложения. Буквами обозначены места отбора образцов: а — горно-лесная почва (лаб. номер ЛУ-8385); б — горно-лесная почва (лаб. номер ЛУ-8386); с, d — угольки древесины (лаб. номер ЛУ-8388); е — древесные листья (лаб. номер ЛУ-8419)

Отбор проб органического материала (рис. 4, с) в оползне 16-С4 осуществлялся из всех вскрытых горизонтов. На глубине 0,2 м от поверхности на контакте болотных отложений и подстилающих горных почв отобраны полуразложившиеся древесные листья ЛУ-8419. Ниже по разрезу, на глубинах 0,3–0,35 и 0,55–0,6 м опробован горизонт горных почв ЛУ-8385, ЛУ-8386 для датирования по рассеянной органике. На глубине 0,9 м в оползнево-обвальных отложениях обнаружены и отобраны мелкие угольки древесины ЛУ-8388. Также взята проба из сильно разложившегося поваленного дерева ЛУ-8387 на поверхности оползня и пробы почвы ЛУ-8390 — ЛУ-8393 с огромных глыб, снесенных на оползневое тело.

Результаты радиоуглеродных определений

Радиоуглеродное датирование органического материала проводилось в лаборатории геохронологии четвертичного периода Института наук о Земле СПбГУ (заведующий лабораторией д.г.-м.н. Х.А. Арсланов). Измерения проводились на ультрафиолетовом жидкостноциклонном спектрометре «Quantulus—1220». Расчет радиоуглеродного возраста проводился с помощью программного пакета «EASY View. SpectrumAnalysisProgramm». Для процедуры калибровки (перехода от радиоуглеродного возраста к календарному — кал. лет) использовалась калибровочная программа «OxCal 4.2» и калибровочные кривые «IntCal 13» [18], «Bomb13 NH1» [14], учитывающие вариабельность содержания углерода в атмосфере и основанные на высокоточных радиоуглеродных измерениях дендрохронологически датированных последовательностей годовых колец деревьев.

Проведенные исследования и полученный калиброванный радиоуглеродный возраст небольших современных оползней 15-С1, 15-С2 в верховьях р. Мзымта в 2015 г. показали [2], что активизация оползневых процессов про-

изошла менее 200 (ЛУ-8105) и менее 400 (ЛУ-8106) кал. лет назад (табл.).

Результаты радиоуглеродного датирования органических остатков из оползня 16-С3 указали на его современный возраст (см. табл.). Полученный возраст древесины и древесных веток ЛУ-8406, ЛУ-8404, ЛУ-8402 и др. из тела оползня показал хорошую сходимость с результатами датирования гумусового горизонта *in situ* ЛУ-8407 (А, В), погребенного под поверхностью оползня. Последующее датирование древесных остатков из селевых отложений, подстилающих оползень, указало на активизацию событий менее 180 и 490 лет назад.

Результаты датирования оползневых тел 16-С5 и 16-С6 (см. табл.) указали на вероятное время активизации оползневых событий менее 400 лет назад и более 800 лет назад соответственно. Возраст древесины из болотных отложений, перекрывающих и подстилающих оползень, составил 390 ± 90 кал. лет (ЛУ-8417) и 770 ± 150 кал. лет (ЛУ-8416). Полученные результаты показали хорошую сходимость и монотонное возрастание по глубине.

Радиоуглеродный анализ образцов органического материала из различных элементов блокового оползня 16-С4 позволил предположить, что активизация оползневых процессов происходила около 1100 лет назад. Наиболее молодые датировки получены по древесным листьям из болотных отложений, накопившихся в тыловой части блокового оползня после образования последнего, — менее 200 лет назад (см. табл.). Возраст ненарушенной верхней части бурых горно-лесных почв на поверхности блокового оползня составил 780 ± 70 кал. лет ЛУ-8385 (В), а возраст почвы, отобранной из подошвы слоя — 870 ± 50 кал. лет ЛУ-8386 (А) — и 1110 ± 90 кал. лет ЛУ-8386 (В). Датировки, полученные по различным вытяжкам, свидетельствуют о загрязнении горных почв легкорастворимыми формами гуминовых кислот, привнесенных грунтовыми водами. Наиболее ранний возраст остатков древесины из оползневого тела составил 1750 ± 170 кал. лет. Полученные ^{14}C датировки стратиграфически хорошо соотносятся с датировками выше и ниже.

Сценарии формирования датированных оползней

Примерный сценарий формирования оползня 15-С1 авторам представляется следующим. Менее 200 лет назад среднее оползневое тело сместилось вниз по склону (см. рис. 2, а). Оползанию 13 тыс. м³ дислоцированных пород вероятнее всего способствовали катастрофические ливни или сильные затяжные дожди. Обильные осадки, выпадающие на поверхность склона, не успевали фильтроваться в суглинистые отложения и стекали по их поверхности в локальную эрозионную сеть, активизируя размыв грунтов боковой и донной эрозией. Постепенно происходило изменение базиса эрозии, увеличивалась крутизна склона. При достижении критической крутизны склона, т.е. состояния, когда в нижней части склона действующие напряжения становились большими, чем прочностные параметры грунтов и (или) вероятно, крупное сейсмическое событие, склон потерял свою устойчивость.

Схожий сценарий формирования и у небольшого оползня 15-С2, который активизировался менее 400 ± 70 лет назад (см. рис. 2, б). За счет таяния снежного покрова или затяжных морозящих дождей оползневые склоны были избыточно увлажнены. Происходила инфильтрация атмо-

Таблица

Радиоуглеродный возраст органического материала из оползневых тел на склонах хр. Псехако и хр. Аибга*

Лаб. номер	Глубина отбора образца, м	Описание	Радиоуглеродный возраст, лет	Калиброванный возраст (календарный), кал. лет
Оползневое тело 15-C1				
ЛУ-8105	2,1	древесина	180 ± 50	Соврем.
Оползневое тело 15-C2				
ЛУ-8106	5,0	древесина	35 ± 60	400 ± 70
Оползневое тело 16-C3				
ЛУ-8399	0,35	древесная ветка	$\delta^{14}C^{**}=6,64\pm 1,17\%$	Соврем.
ЛУ-8400	0,5	древесная ветка	30 ± 75	Соврем.
ЛУ-8401	0,3	древесная ветка	$\delta^{14}C^{**}=0,56\pm 1,2\%$	Соврем.
ЛУ-8402	0,1	древесная ветка	$\delta^{14}C^{**}=17,59\pm 1,15\%$	Соврем.
ЛУ-8403	0,6	древесина	200 ± 50	180 ± 100
ЛУ-8404	0,5	древесина	$\delta^{14}C^{**}=14,52\pm 1,22\%$	Соврем.
ЛУ-8405	0,4	древесина	$\delta^{14}C^{**}=6,73\pm 0,97\%$	Соврем.
ЛУ-8406	0,7	древесная ветка	$\delta^{14}C^{**}=20,92\pm 1,15\%$	Соврем.
ЛУ-8407 (А)	0,55	гумус	$\delta^{14}C^{**}=14,2\pm 1,39\%$	Соврем.
ЛУ-8407 (В)	0,55	гумус	$\delta^{14}C^{**}=13,4\pm 1,28\%$	Соврем.
ЛУ-8408	1,1	ствол дерева	200 ± 50	180±100
ЛУ-8409	1,1	ствол дерева	155 ± 55	Соврем.
ЛУ-8410	на поверхн.	древесная ветка	460 ± 60	490 ± 70
ЛУ-8411	0,65	древесная ветка	$\delta^{14}C^{**}=11,91\pm 0,83\%$	Соврем.
ЛУ-8412	1,2	древесина	$\delta^{14}C^{**}=11,4\pm 1,08\%$	Соврем.
Блоковый оползень 16-C4				
ЛУ-8419	0,2	древесные листья	$\delta^{14}C^{**}=6,41\pm 1,77\%$	Соврем.
ЛУ-8385 (В)	0,35	горно-лесная почва	840 ± 70	780 ± 70
ЛУ-8386 (А)	0,6	горно-лесная почва	970 ± 50	870 ± 50
ЛУ-8386 (В)	0,6	горно-лесная почва	1190 ± 90	1110 ± 90
ЛУ-8388	0,8	угольки древесины	1810 ± 150	1750 ± 170
ЛУ-8387	на поверхн.	древесина	210 ± 25	180 ± 95
ЛУ-8393 (В)	на поверхн.	горно-лесная почва	100 ± 50	Соврем.
Озерные отложения между двумя оползневыми телами 16-C5 и 16-C6				
ЛУ-8417	1,6	древесная ветка	350 ± 80	390 ± 90
ЛУ-8416	1,7	древесина	800 ± 170	770 ± 150

Примечание: *из материалов Ю.К. Васильчука с изменениями [2]. Значения календарного возраста приведены на основании калибровочной программы «OxCal 4.2» (калибровочная кривая «IntCal 13» [18], «Bomb13 NH1» [14]) Christopher Bronk Ramsey [20]. Датировки с буквой «А» получены по холодной вытяжке гуминовых кислот, а датировки с буквой «В» по горячей вытяжке гуминовых кислот. Отдельное выделение холодной и горячей фракции гуминовых кислот актуально только для богатых органикой материалов. Для бедных органикой материалов сразу выделялись горячие фракции гуминовых кислот, и естественно вместе с ними выходили и холодные фракции гуминовых кислот. $\delta^{14}C^{**}$ — содержание избыточного радиоуглерода над современным стандартом (можно сказать, что возраст этих образцов современный), которому соответствуют два интервала времени на калибровочной кривой «Bomb13 NH1»

сферных осадков через суглинистые горизонты вглубь оползневого массива, провоцируя подъем уровня грунтовых вод, расположенных преимущественно в элювиальных отложениях, а также трещинных вод коренных оснований (до первых десятков метров). За счет взвешивающего воздействия подземных вод и уменьшения прочностных свойств грунтов происходило формирование оползня преимущественно в элювиальных грунтах.

Основываясь на данных радиоуглеродного датирования органического материала и данных инструментально датированных исторических сейсмических событий, можно предположить, что оползание материала в точке 16-C3 (см. рис. 2, с): было трехкратным: первое датировано современностью, второе произошло менее 180 лет назад, а третье — 490 лет назад. Скорее всего, активизация процессов была вызвана ливневыми осадками и осу-

щественно по долине вкост простирания локального оползневого склона. Фрагменты селевых конусов вскрываются в долине ручья у подножия оползневого тела 16-С3. Активизация оползневого тела 16-С3 (шириной 120 м и длиной 80 м), скорее всего, произошла в недавнем прошлом (1956–1957 г.). Причиной активизации оползня могли послужить сейсмические события, зафиксированные в 20 км юго-западнее района исследования в 1955–1956 гг. ($M = 4,0-4,4$, $h = 3-6$ км) с максимальной силой 7–8 баллов [1]. Условием же оползания материала стали обильные дожди, которые подготовили верхнюю часть склона к обрушению. Они привели к переувлажнению преимущественно глинистых делювиальных отложений и снижению физико-механических свойств грунтов. Активизировавшаяся оползневая масса сместилась вниз по склону; под языком этого крупного оползня оказалась часть конуса выноса двух предыдущих селей и перекрывающий их гумусовый горизонт.

Примерный сценарий формирования оползневого тела 16-С4 авторам представляется следующим (см. рис. 4, а): около 1,8 тыс. лет назад образовался гигантский обвал высотой около 450 м, шириной около 1000 м, причиной которого могло быть мощное палеоземлетрясение [8]. В теле этого обвала могли захораниваться растущие на склоне деревья, остатки которых были датированы возрастом 1750 ± 170 лет. Спустя 600–700 лет произошло оползание, охватившее верхнюю часть тела гигантского обвала. Этот оползень имел ширину около 270 м и длину 290 м. Он сместился вниз по склону примерно на 122 м. Вполне вероятно, что причиной активизации этого крупного оползня были ливневые осадки, которые привели к переувлажнению материала в верхней части гигантского обвала. Этот переувлажненный материал мог сместиться даже в результате не очень сильных сейсмических колебаний, которые периодически возникают в Краснополянской приразломной зоне. Результатом этого переувлажнения стало то, что после сползания крупного оползня на его поверхности сохранилось увлажненное болото. В этом болоте начали формироваться бурые горно-лесные почвы, для которых характерны полугидроморфные условия при близком залегании грунтовых вод в период от 1110 до 780 лет назад. На заключительном этапе этот почвенный массив подвергся вторичному обводнению и частично был перекрыты озерно-болотными зеленовато-темносерыми тонкодисперсными глинами с высоким содержанием растительных остатков в виде слабообразованных листьев (они датированы современностью).

Крупный оползень в точке 16-С6 сошел около 800 лет назад (см. рис. 4, б). Вероятной причиной активизации

оползня послужила повышенная сейсмическая активность, которая отмечалась при комплексных палеосейсмологических исследованиях на данной территории [5]. Огромные объемы горной породы сместились вниз по склону, сформировав выровненную поверхность во фронтальной части оползня. Одновременно с этим оползневое тело перекрыло русло ручья и создало запруды. Последовавшее за этим вскрытие оползневого тела эрозийным врезом неоднократно сопровождалось сходом селей вкост простирания локального оползневого склона. Во время активизации селевых процессов около 750 и 400 лет назад выровненная поверхность оползня заполнялась взвешенной селевой массой с органическим материалом, вовлеченным в смещение. Со временем эта взвесь осаждалась, формируя глинистые отложения с включением органического вещества. Менее 400 лет назад на локальном оползневом склоне вновь сошел оползень в точке 16-С5. Горные породы объемом около 288 тыс. м³ сместились вниз по склону к ручью, захоронив более древние оползневые отложения 16-С6 и болотные отложения.

Выводы

1. Результаты ¹⁴C анализа показали, что наиболее молодые (из изученных) оползни распространены на южном склоне хр. Псехако и северном склоне хр. Аибга и датируются возрастом менее 200 и 400 лет назад, и более 800 лет назад.
2. Наиболее древний блоковый оползень расположен на северном склоне хр. Аибга и датируется возрастом 1110 лет назад.
3. Установлено время возможной активизации крупнейшего обвала на южном склоне хр. Аибга — 1750 лет назад, сопровождавшегося оползнеобразованием.
4. Одной из важнейших причин оползнеобразования в регионе являются затяжные ливневые осадки и снеготаяние, спровоцировавшие в весенний период 2017 г. одномоментный сход большого оползня на северном склоне хр. Аибга и приведшие к человеческим жертвам и разрушению объектов инфраструктуры. 🌐

Авторы благодарны проф. В.Т. Трофимову за проявленный интерес к работе, а также А.В. Бершову за помощь в полевых исследованиях. Авторы признательны А.Л. Строму и двум анонимным рецензентам за дискуссию. Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 14-27-00083-П) и бюджетного финансирования Московского университета имени М.В. Ломоносова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананьин, И.В., 1977. Сейсмичность Северного Кавказа. Наука, М.
2. Васильчук, Ю.К., Слышкина, Е.С., 2017. Радиоуглеродное датирование небольших оползней на склонах в долине р. Мзымта. Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология, № 1, с. 45–48.
3. Годзиковская, А.А., 2001. Каталог землетрясений Кавказа с $M \geq 4,0$ ($K \geq 11,0$) с древнейших времен по 2000 г. Центр Службы Геодинамических наблюдений в Электроэнергетической отрасли. Министерство топливной энергетики, М.
4. Кропоткин, М.П., 2017. О возрасте блоковых оползней Москвы — спустя полвека. Инженерная геология, № 1, с. 28–38.
5. Овсяченко, А.Н., Меньшиков, М.Ю., Рогожин, Е.А., Корженков, А.М., 2016. Циклы сейсмической активности во второй половине голоцена на Западном Кавказе и их связь с этапами цивилизационного развития (на примере верховьев р. Мзымта). Геофизические процессы и биосфера, т. 15, № 2, с. 68–100.
6. Слышкина, Е.С., Баранов, А.А., Бершов, А.В., 2015. Расчет устойчивости северного склона хребта Аибга в районе поселка Эсто-Садок (Сочи, Краснодарский край). Инженерная геология, № 5, с. 62–70.

7. Слышкина, Е.С., Бершов, А.В., Баранов, А.А., Сас, И.Е., Гаврилов, А.В., 2016. Современная активность оползней южного склона хребта Псехако в бассейне р. Мзымта (Сочи, Краснодарский край). *Инженерная геология*, № 3, с. 68–78.
8. Уломов, В.И., 2008. Выявление потенциальных очагов и долгосрочный прогноз сильных землетрясений на Северном Кавказе. В кн. под. ред. А.О. Глико, *Изменение окружающей среды и климата. Природные и связанные с ними техногенные катастрофы*. т. 1. Сейсмические процессы и катастрофы. ИФЗ РАН, М., с. 127–146.
9. Antognini, M., Volpers, R., 2001. A Late Pleistocene Age for the Chironico rockslide (Central Alps, Ticino, Switzerland). *Bull. Appl. Geol.*, vol. 7, pp. 113–125.
10. Booth, A.M., LaHusen, S.R., Duvall, A.R., Montgomery, D.R., 2017. Holocene history of deep-seated landsliding in the North Fork Stillaguamish River valley from surface roughness analysis, radiocarbon dating, and numerical landscape evolution modeling. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, vol. 122, pp. 456–472.
11. Geertsema, M., Clague, J.J., 2006. 1000-year record of landslide dams at Halden Creek, northeastern British Columbia. *Landslides*, vol. 3, no. 3, pp. 217–227.
12. Hammond, C.M., Meier, D., Beckstrand, D., 2009. Paleo-landslides in the Tyee Formation and highway construction, central Oregon Coast Range. *Geological Society of America Field Guide*, no. 15, pp. 481–494.
13. Hancox, G.T., Langridge, R.M., Perrin, N.D., Vandergoes, M., Archibald, G., 2013. Recent mapping and radiocarbon dating of three giant landslides in northern Fiordland, New Zealand. *GNS Sciens*, 52 p.
14. Hua, Q., Barbetti, M., & Rakowski, A.Z., 2013. Atmospheric Radiocarbon for the Period 1950–2010. *Radiocarbon*, vol. 55, no 4, pp. 2059–2072.
15. LaHusen, S.R., Alison, R.D., Booth, A.M., Montgomery, D.R., 2016. Surface roughness dating of long-runout landslides near Oso, Washington (USA), reveals persistent postglacial hillslope instability. *Geology*, vol. 44, no 2, pp. 111–114.
16. Pánek, T., Šilhán, K., Hradecký, J., Strom, A., Smolkova, V., Zerkal, O., 2012. A megalandslide in the Northern Caucasus foredeep (Uspenskoye, Russia): Geomorphology, possible mechanism and age constraints. *Geomorphology*, vol. 177–178, pp. 144–157.
17. Redda, A., Hansom, J.D., 1989. Mid-Flandrian (Atlantic) landslide activity in the South Pennines. *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*, vol. 47, pp. 207–213.
18. Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A. et al., 2013. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years Cal BP. *Radiocarbon*, vol. 55, no 4, pp. 1869–1887.
19. Vasil'chuk, Yu.K., Vasil'chuk, A.C., 2017. Validity of radiocarbon ages of Siberian yedoma. *GeoResJ*, vol. 13, pp. 83–95.
20. Oxford Radiocarbon Accelerator Unit. Research Laboratory for Archaeology, 2016. URL: <https://c14.arch.ox.ac.uk> (Дата обращения 16.05.2016).

REFERENCES

1. Anan'in, I.V., 1977. Seismicity of the North Caucasus. Nauka, Moscow. (In Russ.).
2. Vasil'chuk, Yu.K., Slyshkina, E.S., 2017. Radiocarbon dating small landslides on the slopes in the Mzymta River valley. *Moscow University Geology Bulletin. Ser. 4. Geology*, no. 1, pp. 45–48. (In Russ.).
3. Godzikovskaya, A.A., 2001. Catalog of earthquakes in the Caucasus with $M > 4,0$ ($K > 11,0$) from ancient times to 2000. Center for Geodynamic Observations in the Electric Power Industry. Ministry of Fuel Energy, Moscow. (In Russ.).
4. Kropotkin, M.P., 2017. About the age of block landslides in Moscow — after half a century. *Engineering geology*, no. 1, pp. 28–38. (In Russ.).
5. Ovsichenko, A.N., Men'shikov, M.Iu., Rogozhin, E.A., Korzhenkov, A.M., 2016. Cycles of seismic activity in second half of Holocene in the Western Caucasus and their tie with stages of civilization development (on example of upper part of the Mzymta River). *Geophysical Processes and Biosphere*, vol. 15, no. 2. pp. 68–100. (In Russ.).
6. Slyshkina, E.S., Baranov, A.A., Bershov, A.V., 2015. Stability calculation of the northern slope of the Aibga Ridge near the Esto-Sadok village (Sochi, the Krasnodar Territory). *Engineering geology*, no 5. pp. 62–70. (In Russ.).
7. Slyshkina, E.S., Bershov, A.V., Baranov, A.A., Sas, I.E., Gavrilov, A.V., 2016. Modern activity of landslides on the southern slope of the Psekhako Ridge in the Mzymta River basin (the North-West Caucasus). *Engineering geology*, no 3. pp. 68–78. (In Russ.).
8. Ulomov, V.I., 2008. Identification of potential focus and long-term forecast of strong earthquakes in the North Caucasus. In A.O. Glyko (ed.), *Change in the environment and climate. Natural and related technogenic disasters*, vol. 1, Seismic processes and catastrophes. IFZ RAN, Moscow, pp. 127–146. (In Russ.).
9. Antognini, M., Volpers, R., 2001. A Late Pleistocene Age for the Chironico rockslide (Central Alps, Ticino, Switzerland). *Bull. Appl. Geol.*, vol. 7, pp. 113–125.
10. Booth, A.M., LaHusen, S.R., Duvall, A.R., Montgomery, D.R., 2017. Holocene history of deep-seated landsliding in the North Fork Stillaguamish River valley from surface roughness analysis, radiocarbon dating, and numerical landscape evolution modeling. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, vol. 122, pp. 456–472.
11. Geertsema, M., Clague, J.J., 2006. 1000-year record of landslide dams at Halden Creek, northeastern British Columbia. *Landslides*, vol. 3, no. 3, pp. 217–227.
12. Hammond, C.M., Meier, D., Beckstrand, D., 2009. Paleo-landslides in the Tyee Formation and highway construction, central Oregon Coast Range. *Geological Society of America Field Guide*, no. 15, pp. 481–494.
13. Hancox, G.T., Langridge, R.M., Perrin, N.D., Vandergoes, M., Archibald, G., 2013. Recent mapping and radiocarbon dating of three giant landslides in northern Fiordland, New Zealand. *GNS Sciens*, 52 p.

14. Hua, Q., Barbetti, M., & Rakowski, A.Z., 2013. Atmospheric Radiocarbon for the Period 1950–2010. *Radiocarbon*, vol. 55, no 4, pp. 2059–2072.
15. LaHusen, S.R., Alison, R.D., Booth, A.M., Montgomery, D.R., 2016. Surface roughness dating of long-runout landslides near Oso, Washington (USA), reveals persistent postglacial hillslope instability. *Geology*, vol. 44, no 2, pp. 111–114.
16. Pánek, T., Šilhán, K., Hradecký, J., Strom, A., Smolkova, V., Zerkal, O., 2012. A megalandslide in the Northern Caucasus foredeep (Uspenskoye, Russia): Geomorphology, possible mechanism and age constraints. *Geomorphology*, vol. 177–178, pp. 144–157.
17. Redda, A., Hansom, J.D., 1989. Mid-Flandrian (Atlantic) landslide activity in the South Pennines. *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*, vol. 47, pp. 207–213.
18. Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A. et al., 2013. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years Cal BP. *Radiocarbon*, vol. 55, no 4, pp. 1869–1887.
19. Vasil'chuk, Yu.K., Vasil'chuk, A.C., 2017. Validity of radiocarbon ages of Siberian yedoma. *GeoResJ*, vol. 13, pp. 83–95.
20. Oxford Radiocarbon Accelerator Unit. Research Laboratory for Archaeology, 2016. URL: <https://c14.arch.ox.ac.uk> (Accessed 16 May 2016).

CAPTION TO FIGURES

Fig. 1. Overview map of the study region including major faults and tested landslides in the Mzymta river valley: black circles — locations of dated landslides and their number; active faults: A – Aibginsky, B – Bieskieszky, Mz – Mzymtinsky, E – Estosadoksky; the red line with notches — downthrow (notches directed towards the lowered wing), red solid lines — mainly after [5]

Fig. 2. Schematic cross-sections of landslides indicating the locations of sampling of organic matter for ^{14}C dating: a, b, c — a schematic cross-sections of landslide bodies 15-C1, 15-C2 and 16-C3 respectively; d — lithological column of deposits in the toe of the landslide 15-C1; e — lithological column of deposits in the toe of landslide 15-C2; f — lithological column of deposits in the body of landslide 16-C3; g — lithological column of deposits in the toe of landslide 16-C3. On the lithological columns, the sampling sites (black squares) are indicated, in parentheses laboratory numbers.

1 — soil; 2 — modern landslide deposits; 3 — deluvial-eluvial deposits; 4 — bedrock (argillite); 5 — fragments of debris cones; 6 — humus horizon (in situ); 7 — direction of displacement; 8 — modern morphology of the slope; 9 — initial morphology of the slope

Fig. 3. Landslide 16-C3. The red dotted line showing the main scarp, yellow solid line — the boundary of the landslide body

Fig. 4. Schematic cross-sections of landslides indicating the locations of sampling of organic matter for ^{14}C dating: a, b — a schematic cross-sections of landslide bodies 16-C4 and 16-C5, 16-C6 respectively; c — lithological column of deposits in the head of the landslide 16-C4; d — lithological column of deposits on board the landslide body 16-C5 and 16-C6. On the lithological columns are indicated the sampling sites (black squares), in parentheses laboratory numbers. 1 — brown mountain-forest soils; 2 — ancient landslide deposits; 3 — modern landslide deposits; 4 — collapse deposits; 5 — landslide-collapse deposits; 6 — bog sediments; 7 — deluvial-eluvial deposits; 8 — bedrock (argillite); 9 — soil; 10 — modern morphology of the slope; 11 — initial morphology of the slope; 12 — direction of displacement

Fig. 5. Buried humus horizon under toe of the landslide 16-C3, the points at which the organic material was extracted for ^{14}C dating. From the top down are opened: 1 — landslide deposits; 2 — humus horizon; 3 — fragments of mud cones of removal. The letters indicate the sampling points: a — wood (lab. number LU-8405); b — humus in situ (lab. number LU-8407); c — wood (lab. number LU-8403); d — tree branch (lab. number LU-8406); e — wood (lab. number LU-8404)

Fig. 6. Pit in the head of the block landslide 16-C4, the points at which the organic material was extracted for ^{14}C dating. From the top down are opened: 1 — bog sediments; 2 — brown mountain-forest soils; 3 — landslide deposits. The letters indicate the places of sampling: a — mountain forest soil (lab. number LU-8385); b — brown mountain forest soil (lab. number LU-8386); c, d — coals of wood (lab. number LU-8388); e — woody leaves (lab. number LU-8419)

CAPTION TO TABLE

Table. Radiocarbon age of organic material from landslide bodies on the slopes of Psekhako and Aibga Ridges

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

СЛЫШКИНА Е.С.

Аспирантка кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

ВАСИЛЬЧУК Ю.К.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета и кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

SLYSHKINA E.S.

Postgraduate student of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

VASIL'CHUK YU.K.

Professor of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology and the Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, Russia