

А.Н. МАХИНОВ, В.И. КИМ, А.В. ОСТРОУХОВ, Д.В. МАТВЕЕНКО

Крупный оползень в долине реки Бурей и цунами в водохранилище Бурейской ГЭС

Приводятся первые результаты аэровизуальных наблюдений и экспедиционного обследования крупного оползня в водохранилище Бурейской ГЭС, произошедшего 11 декабря 2018 г. Дается характеристика основных параметров и последствий одного из крупнейших в России за последние десятилетия геологических явлений.

Ключевые слова: оползень, Бурейское водохранилище, волна цунами, последствия.

Large landslide in the valley of the Bureya River and tsunamis in the reservoir of the Bureya hydroelectric power station. A.N. MAKHINOV, V.I. KIM, A.V. OSTROUKHOV, D.V. MATVEENKO (Institute of Water and Ecological Problems, FEB RAS, Khabarovsk).

The first results of airborne observations and expeditionary surveys of a large landslide in the reservoir of the Bureya hydroelectric power station that took place on December 11, 2018 are given. The characteristic of the main parameters and consequences of one of the largest geological phenomena in Russia in recent decades is given.

Key words: landslide, Bureya reservoir, tsunami wave, consequences.

В Верхнебурейском районе Хабаровского края на крутом левом склоне долины р. Бурей в 20 км выше впадения в нее р. Тырма, большого левого притока Бурей, 11 декабря 2018 г. сошел крупный оползень в точке с координатами 50°34' северной широты и 131°29' восточной долготы (рис. 1). Он перекрыл высокой каменной плотиной заполненное водохранилищем русло р. Бурей, а вызванная им волна на большой площади уничтожила лес.

Аэровизуальное и кратковременное наземное обследование участка долины р. Бурей в этом районе было проведено 25 декабря 2018 г. Более подробное обследование удалось осуществить 12–17 января 2019 г. группой специалистов из Института водных и экологических проблем ДВО РАН, Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Дальневосточного УГМС и ООО «Инженерные изыскания ДВ» при организационной поддержке Правительства Хабаровского края.

Река Бурей, один из крупнейших притоков Амура, имеет общее направление течения с северо-востока на юго-запад. На участке от впадения р. Ушмун до устья р. Мальмальта она течет между отрогами хребтов Турана на северо-западе и Бурейского на юго-востоке. Высота гор с приближением к долине реки снижается до 700–800 м над ур. м. Затопленное днище долины р. Бурей на этом участке находится на высотах 190–210 м над ур. м. Большие относительные превышения обуславливают значительную вертикальную расчлененность рельефа и широкое распространение крутых склонов. В настоящее время долина реки затоплена водохранилищем Бурейской ГЭС (рис. 2).

*МАХИНОВ Алексей Николаевич – доктор географических наук, КИМ Владимир Ильич – кандидат географических наук, ОСТРОУХОВ Андрей Вячеславович – кандидат географических наук, МАТВЕЕНКО Дмитрий Владимирович – младший научный сотрудник (Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск).
*E-mail: amakhinov@mail.ru

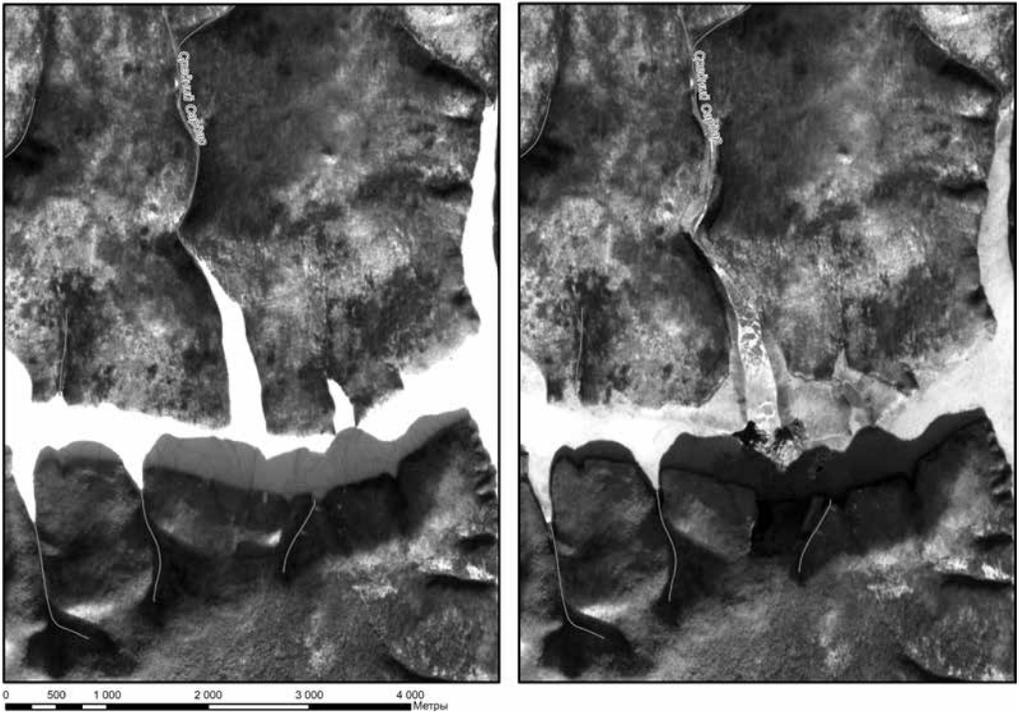


Рис. 1. Космические снимки участка водохранилища Бурейской ГЭС в районе оползня 9 декабря (слева) и 14 декабря (справа) 2018 г. Данные со спутника Sentinel-2

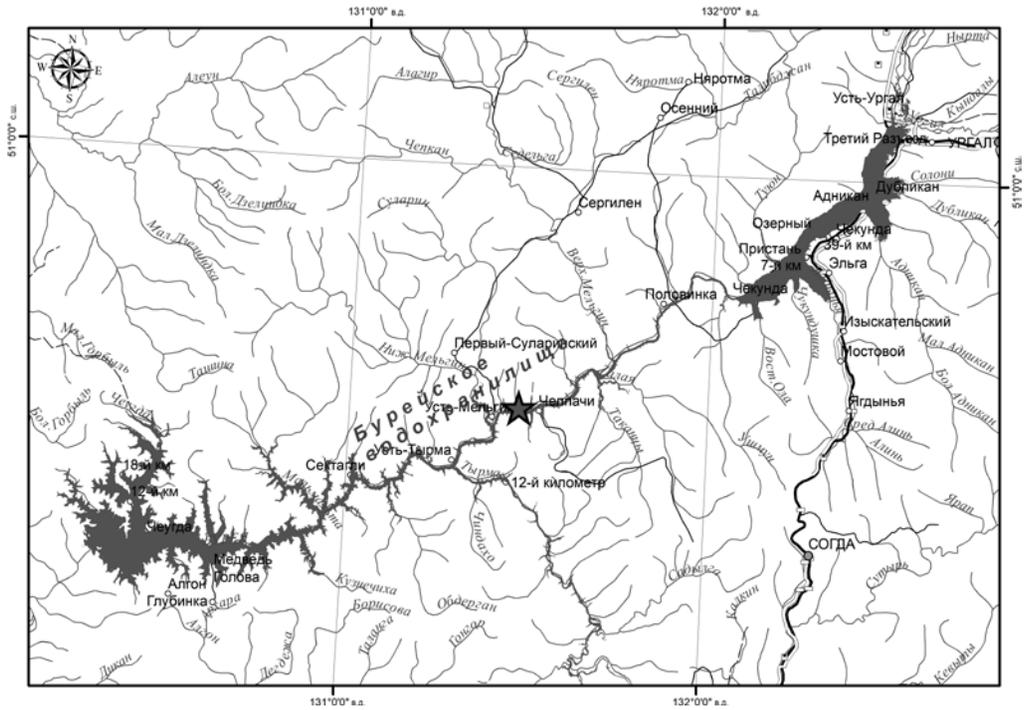


Рис. 2. Местоположение оползня на водохранилище Бурейской ГЭС (отмечено звездочкой)

Долина реки в районе оползня имеет широтное направление. Она глубоко врезана, в ширину составляет 1,0–1,5 км при относительных превышениях вершин над дном 400–500 м. В настоящее время долина реки на всем протяжении рассматриваемого участка затоплена водами Бурейского водохранилища (рис. 3). Ширина затопленного русла – 500–550 м при глубине 60–80 м. Поперечный профиль долины асимметричный: крутой левый берег имеет высоту около 400 м и уклон 30–35°. Русло реки до затопления прижималось к левому берегу и подрезало основание склона, постоянно увеличивая крутизну и снижая его устойчивость. Правый склон долины представляет собой полого наклонную террасовидную поверхность эрозийного происхождения шириной более 1 км и высотой в своей тыловой части до 50 м над современным уровнем воды.

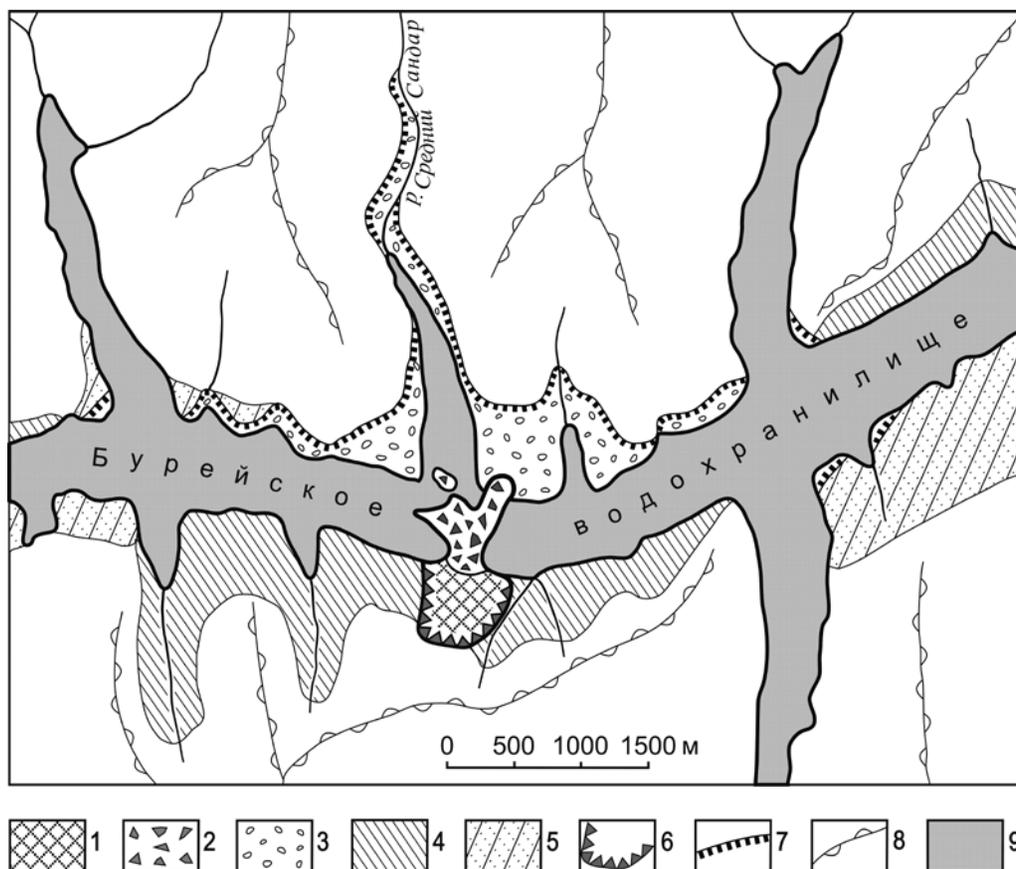


Рис. 3. Положение оползня в долине р. Бурей и границы волны цунами. 1 – поверхность скольжения оползня, 2 – оползневое тело, 3 – ареал уничтоженного леса, 4 – крутые склоны, 5 – пологие склоны, 6 – стенка срыва, 7 – граница заплеска волны цунами, 8 – гребни водоразделов, 9 – акватория водохранилища Бурейской ГЭС

Устьевые участки притоков также затоплены и образуют узкие и глубокие заливы протяженностью 1,5–3,0 км. Колебания уровня воды в водохранилище между максимальными отметками в начале осени и минимальными весной составляют 20 м.

Коренные породы, слагающие крутой левый склон долины, представлены протерозойскими магматическими породами, пронизанными более молодыми дайками. В зонах разломов породы сильно трещиноваты с включениями отдельных более прочных монолитных блоков размером в несколько метров. Повышенная трещиноватость пород существенно ослабила устойчивость склона, подготовив смещение огромных масс горных пород. Значительную роль в подготовке условий для смещения оползня сыграло заполнение



Рис. 4. Стенка срыва и поверхность скольжения оползня. Фото А.В. Остроухова

водохранилища, в результате которого подземные воды проникли под основание склона, увеличив обводненность трещиноватых пород в нижней его части и снизив устойчивость горных пород.

Стенка срыва имеет почти прямоугольную ложбинообразную форму, глубоко врезанную в поверхность склона, и значительные размеры – в длину 600 м, в ширину около 500 м (рис. 4). Под ее верхней кромкой образовались почти отвесные уступы высотой до 30 м, сложенные скальными породами. Ниже поверхность смещения оползневого тела перекрыта маломощным чехлом осыпного материала, состоящего из обломков разного размера и небольших приповерхностных блоков грунтов со стволами деревьев. Левый склон стенки срыва на большей части обрывистый и сложен наиболее прочными породами.

Оползневое тело полностью перекрыло водохранилище до противоположного берега высокой каменной плотиной (рис. 5). Общая площадь в его надводной части составляет

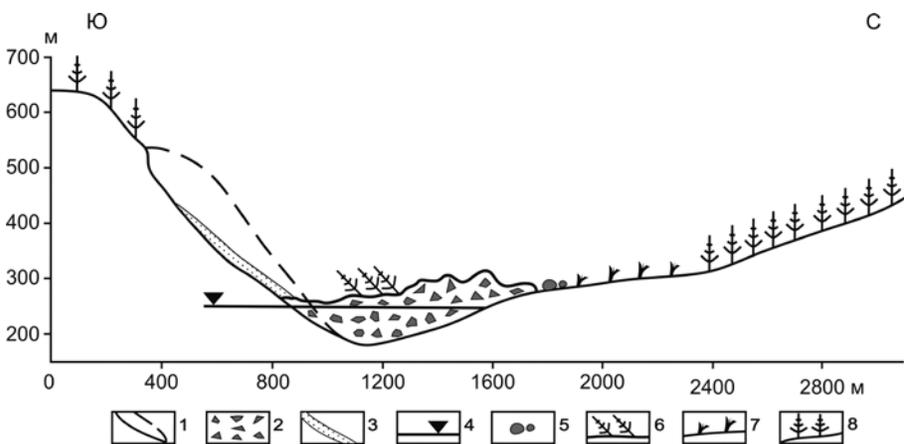


Рис. 5. Поперечный профиль оползня на левом склоне долины р. Буряя. 1 – первоначальная поверхность склона, 2 – оползневое тело, 3 – шлейф осыпей на поверхности скольжения оползня, 4 – уровень воды в водохранилище на момент события, 5 – отдельные глыбы, отброшенные оползнем, 6 – «пьяный лес», 7 – уничтоженный волной лес, 8 – не пострадавший лес

более 270 тыс. м². Протяженность плотины поперек русла р. Буряя достигает 800 м. Ширина неодинакова – от 150 м в самом узком месте и до 620 м в средней части оползневого тела. При этом с западной стороны оползня наблюдается менее низкий и довольно широкий выброс обломочного материала, что, вероятно, может свидетельствовать о нескольких направлениях смещения масс при заполнении наиболее глубокой части ложа водохранилища. Подводная часть оползня, по произведенным во время экспедиции промерам глубин в 52 точках, наибольшие размеры имеет с восточной стороны в направлении вверх по долине Бурей.

На правом берегу оползневое тело уперлось в уступ террасовидной поверхности, образовав над ним несколько коротких валов, разделенных довольно глубокими линейными понижениями в виде крутосклонных рвов. В этой части высота плотины достигает максимальных отметок – 40–47 м над уровнем воды. Валообразные нагромождения обломков разного размера во фронтальной части оползневого тела свидетельствуют об интенсивном боковом давлении при его движении в сторону правобережного склона (рис. 6). Здесь же обнаружена хорошо окатанная речная галька, захваченная из русловой части на дне водохранилища и перенесенная на склон.



Рис. 6. Общий вид стенки срыва (в виде амфитеатра) и оползневого тела. *Фото А.Н. Махинова*

Часть оползня в виде хаотичного нагромождения отдельных глыб и скоплений различного обломочного материала была выброшена на террасовидную поверхность правого склона долины р. Буряя. При этом отдельные крупные обломки горных пород размером 2–3 м были отброшены от фронтальной части смещаемой массы на несколько метров. Здесь же изредка встречаются небольшие обломки льда толщиной около 20 см, принесенные из водохранилища при движении оползня к правому склону долины.

В пределах наиболее глубокой части водохранилища высота каменной плотины, имеющей на этом участке более ровную поверхность, снижается на 7–15 м. Самые низкие высоты оползня наблюдаются у левого берега реки, вблизи ложбины у подножия стенки

срыва. Минимальная отметка ложбины над урезом воды составляет 8,4 м. Непосредственно за ней к югу недалеко от подножия стенки срыва расположена достаточно большая по площади поверхность тыловой части оползневого тела с небольшими перепадами высот, на которой повсюду наблюдается «пьяный лес», представляющий собой рощу наклонно стоящих деревьев. Эта часть оползня образовалась из самой верхней части оползневой массы на последнем этапе смещения.

Объем оползневого тела, рассчитанный с использованием морфометрических параметров образованного в склоне углубления и размеров оползневого тела, включая его подводную часть, составляет приблизительно 24,5 млн м³, или более 55 млн т.

Смещение значительного объема масс в достаточно глубокий водоем вызвало волну, по механизму образования напоминающую небольшое цунами. Волна обрушилась на противоположный пологий склон долины, заросший довольно густым лиственнично-березовым лесом, и продвинулась вверх по склону почти на 1,0 км, достигнув высоты около 56 м над урезом воды в водохранилище. Водный поток ломал стволы деревьев невысоко от поверхности земли, оставляя раздробленные пни высотой до 1 м (рис. 7). Вдоль границы зоны с сохранившимся древостоем образовались скопления принесенных водой преимуще-



Рис. 7. Срезанные водным потоком стволы лиственниц и берез. Фото А.Н. Махинова

ственно целых деревьев в виде невысокого вала. Значительная часть деревьев обратным потоком воды была снесена в водохранилище, где впоследствии они вмерзли в лед. В этом случае в результате многократных ударов деревья были разбиты на небольшие фрагменты (рис. 8).

Волна, постепенно ослабевая, прошла по долине Буреи вверх на 12 км и вниз на 8 км, воздействуя на берега водохранилища. При движении по долине она тоже ломала и переносила деревья на склонах, а затем частично смывала в водоем. При этом за выступами рельефа высота подъема волны заметно снижалась: здесь многие деревья, лишившись ветвей в нижних частях стволов и получив повреждения в виде содранной коры, сохранились.



Рис. 8. Скопления вмерзших в лед обломков древесины в заливе р. Средний Сандар. Фото А.Н. Махинова

Волны сдвигали ледяные поля и ломали лед, образуя многочисленные трещины. Местами лед крошился на небольшие обломки размером не более 0,5 см в поперечнике. При взаимодействии с более крупными ледяными фрагментами эти мелкие обломки выталкивались на ледяную поверхность. В пределах воздействия волны такие же небольшие обломки льда выбрасывались на берег, а крупные трещины во льду отмечались еще на 2–3 км дальше зоны непосредственного воздействия волны.

Но самые впечатляющие события, связанные с движущейся волной, происходили в долине р. Средний Сандар – притока р. Бурей (рис. 9). Устье притока расположено напротив сошедшего оползня, долина сужается вверх по течению и имеет склоны средней крутизны. Ее нижний отрезок в настоящее время представляет собой глубокий залив Бурейского водохранилища. Своим устьем долина Среднего Сандара достаточно широко открыта к склону, на котором произошел оползень. Возникшая волна прошла вверх по долине на 3,6 км. Следуя поворотам долины, волна вначале направилась к ее левому склону, а затем перешла на правый, меняя высоту в зависимости от крутизны склона и угла подхода потока к берегу. Максимальная высота, которую достиг заплеск воды в долине р. Средний Сандар, составила около 60 м.

Обратный поток воды из долины р. Средний Сандар вынес практически весь уничтоженный на склонах лес в залив водохранилища. В результате вся поверхность залива заполнена обломками раздробленных деревьев, затрудняющих передвижение по льду. Обратная волна вернулась к левому склону долины и поднялась по нему в виде заплеска на высоту 22 м, о чем свидетельствуют обломки льда на поверхности в этой части оползневого тела.

Общая площадь, на которой был полностью уничтожен лес, составила около 3,0 км². При этом больше всего пострадали территории, расположенные на противоположном от оползня берегу и склоны долины р. Средний Сандар.



Рис. 9. Вид на оползень и долину р. Средний Сандар с обширными площадями уничтоженного волной леса.
Фото А.В. Остроухова

Прямой гидродинамический удар привел к разрушению почвенного слоя на значительной площади, особенно на уступе правого берега, напротив оползня. Глубина промерзания грунтов к началу события составила около 0,8 м, слой именно такой мощности и был снят потоком воды. В этих местах на поверхности лежат каменные скопления выветрелых коренных пород. Эрозионное воздействие на поверхность склонов в связи с тем, что верхние слои грунтов в этот период времени находились в мерзлом состоянии, было незначительным. Оно проявилось местами лишь на уступах террасовидной поверхности, где скорость течения обратного потока воды была выше вследствие более значительного уклона: здесь прослеживаются слабовыраженные размывы грунта в виде линейно вытянутых эрозионных ложбин.

В понижениях, преимущественно в заливах вблизи оползня и в меньшей степени на склонах долины р. Буря, образовались небольшие наледи размером в несколько десятков метров. Так, в заливе у правого берега, расположенном в 0,5 км от оползня, выявлены четыре наледи в устье небольшого водотока и на склонах. Такие же по размерам наледи встречаются на расстоянии до 5 км от оползня и, вероятно, обязаны своим возникновением просачиванию вод в толщу рыхлых отложений и ее дальнейшему выдавливанию на поверхность при промерзании грунтов.

Следует отметить, что крупные оползни объемом в десятки миллионов кубических метров случаются довольно редко. Для их образования необходимы высокие крутые склоны и слабая устойчивость горных масс, подготовленных теми или иными условиями к смещению. Возникновению оползней способствуют также подрезание оснований склонов эрозионными процессами в долинах рек или абразионное воздействие волн на морских побережьях. Породы должны быть достаточно легко проницаемы для воды. В горных районах это достигается в случае интенсивной тектонической трещиноватости скальных пород. Сочетание всех этих факторов в долине р. Буря представляется большой редкостью. Следов более древних подобных явлений на этом горном участке долины Буреи не отмечено, хотя не исключено, что они могут быть обнаружены при более детальном обследовании территории.

Одна из особенностей случившегося природного катаклизма заключается в том, что оползень в долине Буреи произошел в начале зимы, когда установились стабильно низкие температуры. На ближайших метеопостах Чекунда и Сектагли минимальные температуры

воздуха накануне события составляли $-36,2$ и $-31,3$ °С, среднесуточные $-32,4$ и $-27,3$ °С соответственно. Грунты к середине декабря промерзли на незначительную глубину по сравнению с толщиной слоя сползшей горной массы, и, следовательно, их промерзание не могло оказать влияния на начало движения оползня.

Предварительный анализ полученных материалов показывает, что оползень в долине р. Бурей представляет собой уникальное для низкогорных районов природное явление, прежде всего вследствие его значительных размеров. Весьма необычным является также зимнее время смещения оползня, что нехарактерно для территории Хабаровского края, хотя крупные оползни в зимний сезон года отмечались в других регионах страны, в частности на Камчатке.

Метеоритная версия образования глыбистых скоплений в русле р. Бурей и чашевидной выемки пород на крутом склоне, а также возникновения поваленного леса, высказанная некоторыми любознательными жителями нашей страны и активно обсуждаемая в СМИ, не подтверждается фактическими данными. Никаких следов возможного удара какого-либо космического тела и неизбежного при этом разброса горных пород при взрыве в окрестностях оползня не выявлено. Характер вывала леса и распространение поваленных деревьев преимущественно вдоль одного склона долины не могут быть объяснены воздействием взрывной волны.

Негативные последствия оползня могут проявиться весной и летом. Во время весеннего половодья при снежной зиме и быстром таянии снега, а также во время высоких летних паводков возможен существенный подъем воды в верхней части водохранилища (выше каменной плотины) до высоты 10–15 м, что приведет к затоплению вышерасположенных территорий, в том числе пос. Чекунда и других населенных пунктов. Весной каменная плотина станет препятствием для движения льда в основную часть водохранилища, что может даже при невысоком ледяном заторе вызвать дополнительный подъем уровня воды.

В зимний период бурейский оползень особых проблем не создаст, за исключением уменьшения притока воды в нижерасположенную часть водохранилища в результате слабой фильтрации через тело каменной плотины. Фильтрационная способность плотины, по наблюдениям в январе 2019 г. и по опыту на других подобных завалах, невелика, и за плотиной уровень воды в настоящее время повышается со скоростью около 1 см в день. В этих условиях приток воды в основную часть водохранилища существенно уменьшился, что привело к необходимости сократить выработку электроэнергии на Бурейской ГЭС.

Среди других последствий следует указать на возможность образования весной и в начале лета небольших оползней при оттаивании рыхлого чехла грунтов, залегающих над верхней кромкой стенки срыва, а на отвесных скальных уступах могут возникнуть камнепады и обвалы. Кроме того, запруда перекроет сквозное судоходство по водохранилищу, что в отсутствие дорог в этом горном районе приведет к дополнительным затратам при транспортировке людей и грузов, затруднит хозяйственное освоение территории.

В настоящее время ведутся взрывные работы по частичному разрушению созданной природой перемычки и восстановлению свободного перетока воды из верхней части водохранилища в нижнюю.

Сходы оползней в водохранилища за последние 60 лет случались неоднократно. Один из крупнейших подобных катаклизмов произошел 9 октября 1963 г. на водохранилище Вайонт в Италии [2]. Со склона горы Ток сошел оползень объемом 270 млн м³ и, вытеснив воду на противоположный берег, поднял ее на высоту до 250 м. Скатившись затем назад, волна высотой около 150 м перехлестнула плотину и устремилась в долину р. Пьяве со скоростью более 80 км/ч, полностью разрушив деревню Лонгароне и несколько других населенных пунктов. В этой катастрофе погибло 1910 человек.

На Дальнем Востоке оползневые явления распространены довольно широко. Наиболее часто оползни происходят на морских побережьях и в долинах крупных рек на крутых склонах, сложенных рыхлыми отложениями. Примером может служить крупный оползень

в долине нижнего течения р. Зей. В начале ноября 1985 г. на высоком правом склоне речной долины произошло смещение на 50 м вниз блока рыхлых горных пород размером 1000×400 м и объемом 6 млн м^3 [4]. 3 июня 2007 г. на Камчатке сошел оползень, перегордивший долину р. Гейзерная [3]. Плотина имела внушительные размеры: длину – 300 м, ширину – 200–250 м, высоту – до 50 м. Объем оползневого тела в Долине Гейзеров составил 20 млн м^3 [5]. Еще один крупный оползень на Камчатке произошел 4 января 2014 г. в верховье р. Гейзерная, перегордив русло плотиной, за которой образовалось подпрудное озеро размером 700×200 м.

На крутых склонах западного побережья Охотского моря выявлены многочисленные крупные оползни-обвалы, сложенные глыбистыми обломками пород у подножий высоких морских уступов. Они известны как сбросо-обвал. Некоторые авторы считают, что в масштабном смещении пород большую роль сыграли землетрясения [1]. Оползни часто приурочены к зонам повышенной трещиноватости горных пород. В этих условиях на склонах существенно снижается устойчивость тяжелых горных масс, особенно при воздействии абразионных процессов на подножия береговых уступов.

Многочисленные небольшие обвалы горных пород на обрывистых берегах и оползни толщ рыхлых отложений на крутых склонах случаются на подрезаемых эрозией склонах в долинах многих горных рек бассейна Амура. Обычно они имеют объем не более 1 тыс. м^3 . Чаще всего процессы смещения блоков рыхлого материала происходят в летнее время, после продолжительных интенсивных ливней при проникновении в континентальную часть Дальнего Востока тихоокеанских тайфунов. Большое количество малых по размерам оползней на склонах долины Амура наблюдалось во время прохождения паводка 2013 г. Они были обусловлены размывами паводковыми водами оснований склонов, ослабившими устойчивость вышележащих рыхлых масс.

Высокие крутые склоны по соседству с водотоками и водоемами почти всегда представляют потенциальную опасность. Поэтому риски возникновения крупных оползней и вызванных ими разрушительных волн должны приниматься во внимание при эксплуатации водохранилищ ГЭС Сибири и Дальнего Востока – Зейской, Колымской, Саяно-Шушенской и др. В Дальневосточном регионе опасные природные процессы наносят ущерб населению и хозяйственной деятельности, но они не достигают пока значительных масштабов в силу слабой освоенности территории. Однако по мере экономического развития региона негативные последствия оползней, снежных лавин, селевых потоков и других неконтролируемых человеком опасных природных явлений будут все более внушительными, и это необходимо учитывать при организации природопользования.

Авторы выражают благодарность комитету по гражданской защите Правительства Хабаровского края за помощь в организации исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев М.Д., Онухов Ф.С., Уфимцев Г.Ф. Сбросо-обвалы на северо-западном побережье Охотского моря // Геология и геофизика. 1975. № 8. С. 87–95.
2. Гусяков В.К. Трагедия Лонгароне // Наука в Сибири. 2013. № 50, 26 дек. С. 13.
3. Леонов В.Л. Долина гейзеров – что произошло на самом деле. – http://www.kscnet.ru/ivs/expeditions/2007/Geyser_Valley-06-2007/Geyser_Valley-06.htm
4. Махинов А.Н., Поздняков А.В., Гусев М.Н., Помигуев Ю.В. Крупный оползень в долине р. Зей // География и природ. ресурсы. 1993. № 1. С. 175–177.
5. Пинегина Т.К., Делемень И.В., Дрознин В.А., Калачева Е.Г., Чирков С.А., Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Леонов В.Л., Селиверстов Н.И. Камчатская Долина гейзеров после катастрофы 3 июня 2007 г. // Вестн. ДВО РАН. 2008. № 1. С. 33–44.