

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 551.435+551.466.62(571.62)

КАТАСТРОФИЧЕСКИЙ ОПОЛЗЕНЬ И ЦУНАМИ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ БУРЕЙСКОЙ ГЭС (БАССЕЙН АМУРА)

© 2019 г. В. В. Кулаков^{1,*}, А. Н. Махинов¹, В. И. Ким¹, А. В. Остроухов¹

¹Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения
Российской академии наук (ИВЭП ДВО РАН),
ул. Дикопольцева, 56, Хабаровск, 680000 Россия
*E-mail: vvkulakov@mail.ru

Поступила в редакцию: 20.03.2019 г.

Рассмотрены природные, геологические и мерзлотно-гидрогеологические условия и причины формирования катастрофического оползня и цунами 11.12.2018 г. в водохранилище Бурейской ГЭС. Дан прогноз негативного влияния этого и других опасных природных процессов на потенциальную уязвимость территории от их активизации при эксплуатации водохранилища.

Ключевые слова: оползень, цунами, Бурейская ГЭС, водохранилище.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019312-20>

ВВЕДЕНИЕ

Любое проявление опасных природных процессов связано с определенными потерями. Обеспечение природно-техногенной безопасности не может быть решено чисто техническими средствами вследствие возможного возникновения негативных вторичных процессов и отсутствия необходимых материальных ресурсов для осуществления в полном объеме защитных мероприятий [9].

В Верхнебуреинском районе Хабаровского края 11 декабря 2018 г. на крутом левом склоне долины р. Бурей в 20 км выше впадения в нее большого левого притока (р. Тырма) сошел крупный оползень, полностью перекрывший высокой плотиной из обломков скальных пород заполненную водохранилищем Бурейской ГЭС долину реки [5, 8, 10]. Оползень перекрыв сток воды между Чекудинским и Талаканским равнинными участками водохранилища и создал опасность подтопления населенных пунктов и трассы БАМ. Спровоцированная оползнем волна цунами в водохранилище на большой площади уничтожила лес.

Для определения времени активизации оползня Дальневосточным центром НИЦ «Планета» и Институтом космических исследований РАН были проанализированы данные наблюдений района оползня прибором АН1, установленном на японском спутнике Himawari-8 [5]. Обрушение произошло в 14:48 ч по местному времени.

Минимальная температура воздуха по посту Чекунда составила -36.2°C , средняя за сутки -32.4°C . В результате схода оползня выплеснулось достаточно большое количество относительно теплой воды (больше 0°C), обусловившее температурную аномалию, исчезнувшую примерно к 16:00 час за счет охлаждения воды.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Изучение строения, морфологических характеристик и последствий формирования оползня в Бурейском водохранилище проводилось на основе анализа материалов предыдущих геологических и гидрогеологических исследований, изучения современных спутниковых снимков и данных, полученных в ходе полевых и лабораторных работ. В качестве фактического материала использовались фотодокументация оползня (рис. 1), геодезические и гидрометрические измерения, результаты гидрогеохимических исследований наледных льдов и поверхностных вод, выполненных при проведении экспедиционных работ в январе 2019 г. Комплексные полевые исследования выполнялись 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».

Полевые работы включали документацию морфометрических параметров оползневого тела,



Рис. 1. Фото: а – общий вид оползня (фото с вертолета А.Н. Махинова); б – вид стенки срыва в виде амфитеатра на северном склоне долины р. Бурейя и оползневого тела (фото с вертолета А.Н. Махинова); в – вид с левого берега водохранилища на оползень и долину р. Средний Сандар (на юг) с обширными площадями леса, уничтоженного волной цунами (фото А.В. Остроухова); г – спуск воды по каналу через оползневую плотину на водохранилище Бурейской ГЭС (фото А.Н. Махинова).

возвышающегося над уровнем воды в водохранилище, гидрометрическое обследование подводной части оползня, проведение комплексных геоморфологических и геолого-гидрогеологических маршрутов по долинам притоков в районе оползня и отбор проб воды и льда для химического анализа.

Оценка площадных параметров воздействия волны цунами и определение ее высотных характеристик производились на основе анализа данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) со спутника Sentinel-2, полевых измерений и фотодокументации, высотных характеристик рельефа в векторном формате [10]. Использовались снимки за 12, 14 и 19 декабря 2018 г. Были выделены территории с уничтоженным лесом и построены изолинии, характеризующие высоту волны на разных участках водохранилища. Химический анализ водных проб был выполнен в лаборатории Института водных и экологических проблем ДВО РАН.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЙОНЕ

Среднее течение р. Бурейя, где расположено водохранилище Бурейской ГЭС, на участке от впадения р. Ушмун до устья р. Мальмальта находится между отрогами хребтов Турана на северо-западе и Бурейского на юго-востоке. Абсолютные отметки затопленного дна долины р. Бурейя на этом участке –190–210 м. Абсолютные отметки вершин достигают 700–1050 м. Типичные формы рельефа – крутосклонные глубоко врезанные долины р. Бурейя и ее притоков, имеющие V-образные и корытообразные поперечные профили. В настоящее время долина р. Бурейя и нижние участки долин ее притоков заполнены водами Бурейского водохранилища, сезонные колебания уровней которого составляют 20 м.

В районе Бурейского водохранилища более 80% площади сложено интрузивными породами, преимущественно кислого состава [3, 4]. В меньшей степени развиты метаморфические, осадочные и эффузивные образования нижнепротерозойского–мезозойского возраста. На участке, где активизировался гигантский оползень на левом борту Бурейского водохранилища, развиты палеозойские интрузии (граниты, гранодиориты). В интрузивных массивах района зафиксировано внедрение многочисленных жильных тел кислого и основного составов. Четвертичные аллювиальные отложения в долине р. Бурейя представлены песками, суглинками и валунно-галечным материалом. Мощность аллювиальных отложений достигает 3.3 м. В результате выветривания скальных интрузивных пород на склонах долин водотоков формируются элювиально-делювиальные глыбовые отложения с супесчаным заполнителем мощностью от 1 до 3 м.

Район образования оползня расположен в области Туранского поднятия [4]. Разрывные нарушения типа сбросов и надвигов были заложены еще в раннем палеозое. Образование разломов продолжалось в мезозое и кайнозое.

Водосборная площадь Бурейского водохранилища – территория с очень сложными мерзлотно-гидрогеологическими условиями, большая часть которой приурочена к области развития островной, прерывистой и сплошной многолетней мерзлоты, где мощность мерзлых пород составляет десятки-первые сотни метров [4, 6]. Максимальная мощность многолетнемерзлых толщ (до 200 м) достигает в пределах хребта Буреинский при температуре пород до -3°C . Мерзлотой обычно поражены водоразделы и склоны северной экспозиции, а также днища долин рек.

Основной тип подземных вод в пределах Буреинского гидрогеологического массива – подземные воды зоны экзогенной приповерхностной трещиноватости талых скальных пород и трещинно-жильные воды, циркулирующие по сильно трещиноватым и раздробленным породам зон тектонических нарушений среди монолитных и мерзлых вмещающих пород.

ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПРИАМУРЬЕ

Сильно расчлененный крутосклонный рельеф и повышенная сейсмическая активность территории Приамурья обуславливают широкое распространение и частую повторяемость горных обвалов, осыпей и оползней. Массовому проявлению этих экзогенных геологических процессов благоприятствуют сильная раздробленность скальных горных пород густой сетью тектонических нарушений [1, 2, 4].

Оползни в породах коренной основы более интенсивно проявляются в интрузивных и метаморфических породах в зонах крупных тектонических нарушений. Ведущее место в этой группе занимают оползни скольжения коры выветривания. Почти всюду в горах сползание пород происходит по наклонному горизонту выветрелых образований или по приповерхностной зоне повышенной тектонической и экзогенной трещиноватости, совпадающей с падением склона. Современные оползни активно развиваются в неотектонических узлах пересечения разрывных нарушений.

Оползни в скальных породах, развивающиеся по крутопадающим (45° - 70°) тектоническим нарушениям, отличаются от остальных видов оползней крупными и гигантскими (миллионы кубических метров) размерами. Они характеризуются также большой глубиной захвата пород и выходом

основного деформирующего горизонта ниже подошвы склона, нередко с деформацией коренного ложа долин рек. Оползни этого класса связаны с долгоживущими разломами и прежде всего с опережающими их локальными нарушениями, активными в плейстоцене-голоцене.

Блоковые оползни магматических и метаморфических пород чаще формируются при землетрясениях. Современные оползни отличаются от позднеплейстоценовых аналогичных образований меньшими размерами и единичностью проявления. Они главным образом тяготеют к тектоническим нарушениям, опережающим активные региональные разломы допалеозойского и более древнего заложения.

В Приамурье оползневые явления распространены довольно широко. Наиболее часто они происходят на морских побережьях и в долинах крупных рек на крутых склонах, сложенных рыхлыми отложениями [7]. Оползни часто бывают приурочены к зонам повышенной трещиноватости горных пород.

В бассейне левобережья Нижнего Амура в Баджальском и Мяо-Чанском хребтах известны крупные древние оползни разноразмерного обломочного материала [4]. Они наблюдались в бассейнах рек Селемджа и Буряя. В Мяо-Чанском районе за счет оползня меловых вулканогенных пород образовалось подпрудное озеро Амут. В бассейнах рек Герби и Талиджак в Баджальском хребте оползни распространены в интрузивных породах мелового возраста. Омотский блоковый оползень образовался на левом склоне долины р. Омот-Макит (левый приток р. Герби) в узле пересечения локальных тектонических нарушений. Блок гранитов объемом около 20 млн м^3 сместился по скалывающей поверхности крутизной 50° - 55° . Глубина захвата поверхности составила 100-120 м, ширина вдоль склона – до 500 м. Оползневая масса из нескольких блоков перегородила р. Омот-Макит и продвинулась на 200-250 м вверх по основной долине. Здесь образовалось озеро Омот площадью до 300 тыс. м^2 . Длина оползневой плотины – около 700 м, ширина – 500-600 м.

В верховьях р. Герби оползень сильнотрещиноватых гранитов объемом до 15 млн м^3 сошел по склону, крутизной 45° - 50° , пересек распадок, перевалил через пологий водораздел в главную долину, где перекрыл два притока в месте их слияния. Перед завальной плотиной образовалось озеро с двумя заливами.

В начале ноября 1985 г. на высоком правом склоне в долине нижнего течения р. Зея произошло смещение плиоцен-четвертичных рыхлых пород в виде блока размером 1000x400 м, сползшего вниз на 50 м [7]. Он раздробился на три фрагмента, а его общий объем составил около 6 млн м^3 .

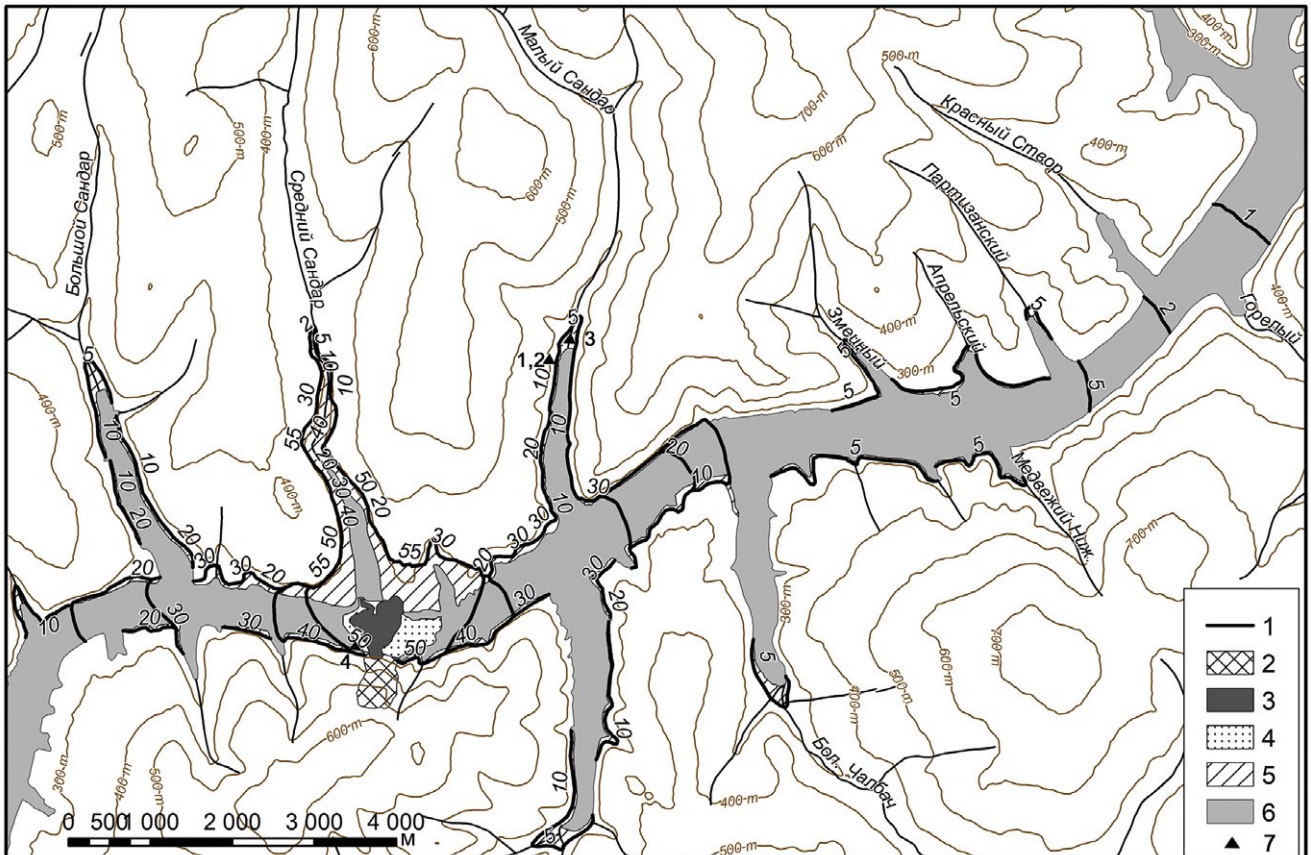


Рис. 2. Оползень и результаты цунами в водохранилище Бурейской ГЭС: 1 – изолинии высоты волны цунами (1-55 – высота волны, м); 2 – поверхность скольжения оползня со склона; 3 – надводное тело оползня; 4 – подводное тело оползня; 5 – зона уничтоженного леса; 6 – акватория водохранилища; 7 – пункты отбора проб воды.

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. м³. Чаще всего процессы смещения блоков рыхлого материала происходят в летнее время, преимущественно после продолжительных интенсивных ливней при проникновении в континентальную часть Дальнего Востока тихоокеанских тайфунов. Большое количество малых по размерам оползней на склонах долины Амура было отмечено во время прохождения катастрофического наводнения в 2013 г. Они были обусловлены размывами паводковыми водами оснований склонов, уменьшившими устойчивость вышележащих рыхлых масс.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика оползня

Долина р. Буреи в районе оползня имеет широкое направление (рис. 2). Она глубоко врезана; относительные превышения близ расположенных

вершин над ее днищем – 400-500 м при ширине 1.0-1.5 км. Наибольшая глубина Бурейского водохранилища на всем протяжении рассматриваемого участка составляет 65-70 м. Поперечный профиль долины асимметричный – левый берег северной экспозиции, высотой около 400 м, крутой с уклоном 30°-35°. Русло реки до затопления прижималось к левому берегу и подрезало основание склона, постоянно увеличивая крутизну и снижая его устойчивость. Ширина ложа водохранилища в долине реки на участке оползня составляет 500-550 м. Устьевые участки притоков р. Буреи также затоплены и образуют узкие и глубокие заливы протяженностью 1.5-3.0 км. Амплитуда колебания уровней воды в водохранилище между максимальными отметками в начале осени и минимальными весной составляет 20 м.

Коренные породы, слагающие крутой левый склон долины, представлены протерозойскими магматическими породами, пронизанными дайками [3]. В зонах разломов породы сильно трещиноваты с включениями отдельных более прочных монолитных блоков размером в несколько метров.

Значительную роль в подготовке условий для смещения оползня сыграло заполнение водохранилища, в результате которого произошло растепление мерзлых пород, и подземные воды проникли под основание склона, увеличив обводненность трещиноватых пород в нижней его части и снизив тем самым устойчивость массива 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. Под ее верхней кромкой протягиваются отвесные уступы высотой до 30 м, сложенные скальными породами. Ниже их поверхность смещения оползневое тело 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 заполнило чашу водохранилища и полностью перекрыло его до противоположного берега каменной плотиной высотой 10-47 м над уровнем воды (рис. 3). Его общая площадь в надводной части — более 270 000 м². Протяженность образовавшейся плотины поперек русла р. Бурей достигала 800 м, а ширина была неодинаковой и составляла в самом узком месте около 150 м при максимальной ширине оползневое тела в средней его части 620 м.

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 достигла максимальных отметок — 40-47 м над уровнем воды.

Часть тела оползня в виде хаотического нагромождения отдельных глыб и скоплений разноразмерного обломочного материала была выброшена на террасовидную поверхность на правом склоне долины р. Бурей. При этом отдельные крупные обломки горных пород размером 2-3 м были отброшены от фронтальной части смещаемой массы на несколько метров. Здесь же обнаружена хорошо окатанная речная галька, несомненно, захваченная из русловой части на дне водохранилища и перенесенная на пологий правый склон долины.

В пределах наиболее глубокой части водохранилища высота каменной плотины с более ровной поверхностью на этом участке, снижается на 7-15 м. Самые низкие высоты находятся вблизи левого берега реки и приурочены к ложбине, расположенной у подножья стенки срыва. Минимальная отметка ложбины над урезом воды составляет 8.4 м. Непосредственно за ней к югу недалеко от подножья стенки срыва расположена достаточно большая по площади поверхность тыловой части оползневое тела с небольшими перепадами высот, на которой повсюду распространен “пьяный

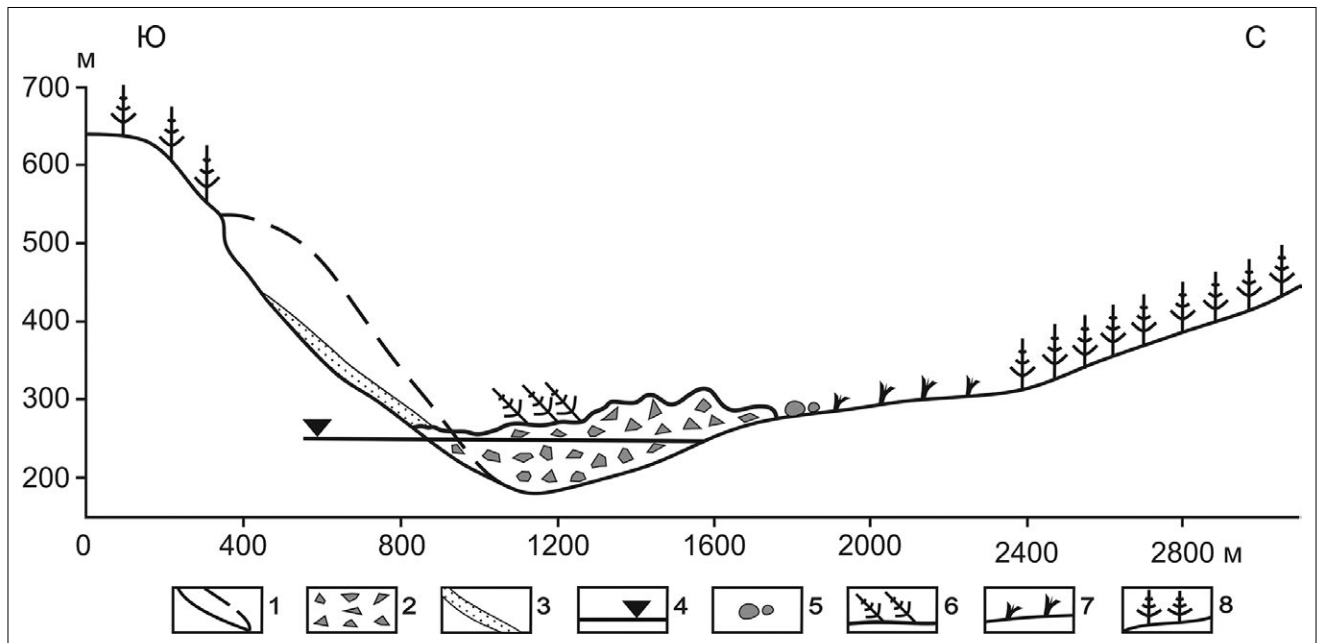


Рис. 3. Поперечный профиль оползня на левом склоне долины р. Бурей: 1 — поверхность склона (пунктирная линия — исходная поверхность); 2 — оползневое тело; 3 — шлейф осыпей на поверхности скольжения оползня; 4 — уровень воды в водохранилище на момент события (~253 м); 5 — отдельные глыбы, отброшенные оползнем; 6 — “пьяный лес”; 7 — уничтоженный волной цунами лес; 8 — непострадавший лес.

лес”, представляющий собой рощу наклонно стоящих деревьев. Эта часть оползня образовалась на последнем этапе смещения самой верхней части оползневой массы.

Объем оползневого тела, рассчитанный с использованием полученных данных о морфометрических параметрах образованного углубления в склоне и оценки размеров оползневого тела, включая его подводную часть, составляет приблизительно 23,5 млн м³, или более 55 млн т (табл. 1).

Волна цунами

Смещение значительного объема пород в достаточно глубокий водоем вызвало волну, по механизму образования представляющую собой цунами. Волна обрушилась на противоположный пологий склон долины, заросший довольно густым лиственнично-березовым лесом (см. рис. 2). Она 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 одного метра. Вдоль границы с сохранившимся древостоем образовались скопления принесенных водой преимущественно целых деревьев в виде невысокого вала. Значительная часть деревьев обратным потоком воды была снесена в водохранилище, где они впоследствии вмерзли в лед. В этом случае в результате многократных соударений деревья были разбиты на небольшие фрагменты.

В зоне максимального распространения высота волны поднималась до высоты 55-60 м над уровнем воды в водохранилище, на удалении 3 км — до 30 м (см. рис. 2). Зона воздействия волны высотой до 1 м отмечалась вверх по долине на расстоянии 12 км, что проявилось в растрескивании льда и выбросе его небольших обломков на берег при прохождении волны.

В правом притоке Буреи — р. Средний Сандар (рис. 1в, 2), 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, изменяя высоту в зависимости от крутизны склона и угла подхода потока к берегу. Максимальная высота, которую достиг-

ла волна в долине р. Средний Сандар, составила около 60 м. Обратный поток вернулся к подножью оползня на левом склоне долины р. Бурея и поднялся по нему в виде заплеска на высоту 21 м.

Прямой гидродинамический удар водного потока на обращенные к его направлению склоны привел к разрушению почвенного и элювиально-делювиального слоя на значительной площади, особенно на уступе правого берега напротив оползня. Поскольку величина промерзания грунтов составила к началу события около 0.8 м, то потоком был снят слой именно такой мощности. В этих местах на поверхности лежат каменистые скопления выветрелых коренных пород. Эрозионное воздействие на поверхность склонов вследствие того, 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, где прослеживаются слабовыраженные размывы грунта в виде линейно вытянутых эрозионных ложбин.

В понижениях поверхности, преимущественно в заливах вблизи оползня и в меньшей степени на склонах долины р. Бурея, сформировались небольшие наледи размером в несколько десятков метров (рис. 4). Так, в небольшом заливе у правого берега, расположенном в 0.5 км от оползня, выявлено три наледи в устье малого водотока и на склонах, из которых были отобраны пробы воды. Такие же по размерам наледи отмечаются на расстоянии до 5 км от оползня и, вероятно, также обязаны своим возникновением просачиванию вод в толщу рыхлых отложений и ее дальнейшим выдавливанием к поверхности при промерзании грунтов.

Результаты количественного химического анализа водных проб, включая поверхностные воды водохранилища, приведены в табл. 2.

Как видно по результатам анализов, подземные воды наледей (тн-1 и тн-2) отличаются от поверхностных вод водохранилища более высокой минерализацией и величиной рН [6]. Наледный лед в тн-3, вероятно, формировался за счет смешения разгружающихся по тальвегу ручья подземных вод с поверхностными водами водохранилища.

Таблица 1. Морфометрические параметры оползневого тела

Параметры	Площадь, м ²	Объем, м ³	Максимальная мощность, м
Выемка на склоне	273 361	18 896 566	155
Оползневое тело в ложе водохранилища, в том числе надводная часть	532 128 275 061	23 497 180	94

Таблица 2. Результаты химического анализа природных вод в районе оползня на Бурейском водохранилище

Место отбора водной пробы	pH	Удельная электропроводность, мкСм/см	Цветность, градус	НСО ₃ ⁻ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Si, мг/л	Перманганатная окисляемость, мгО ₂ /л
Наледный лед, тн-1	8.0	143.6	<5	79	6.7	7.8	-
Наледный лед, тн-2	7.8	150.6	<5	83	7.8	8.7	-
Наледный лед, тн-3	7.8	125.1	165	79	11.6	11.3	68
Поверхностные воды ниже оползня у левого борта долины	6.7	57.3	54	28	5.6	5.6	12.2

Примечание: анализы выполнены в лаборатории ИВЭП ДВО РАН; тн – точка наблюдения.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ ВЛИЯНИЯ ОПОЛЗНЯ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО МИНИМИЗАЦИИ ЕГО ПОСЛЕДСТВИЙ

Предварительный анализ полученных материалов показывает, что оползень в долине р. Бурей представляет собой уникальное для низкогорных районов опасное природное явление [8], прежде всего вследствие его значительных размеров. Весьма необычно и нехарактерно для территории Дальневосточного региона также то, что смещение оползня произошло в зимнее время.

В зимний период Бурейский оползень особых проблем не создаст за исключением уменьшения притока воды в нижерасположенную часть водохранилища за счет слабой фильтрации через тело каменной плотины. Фильтрационная способность плотины, по наблюдениям в январе 2019 г. и как показывает опыт других подобных завалов, невелика, и за плотиной уровень воды повышался со скоростью около одного сантиметра в день. В этих условиях приток воды в основную часть водохранилища, по данным измерения уровней воды выше и ниже созданной природой запруды, существенно уменьшился, что привело к необхо-

димости временно сократить выработку электроэнергии на Бурейской ГЭС.

В настоящее время взрывными работами создан проран, по которому восстановлена связь между верхней и нижней частями водохранилища, что обеспечит нормальную работу ГЭС в будущем. Для существенного снижения потенциальной опасности влияния оползневой плотины специалистами Минобороны России (около 500 человек, 43 единицы военной и специальной техники, в том числе 6 вертолетов армейской авиации, беспилотный летательный аппарат «Орлан-10», а также снегоходы) взрывами пробит водопропускной канал. Длина канала составляет 210 м, ширина по берегам – от 100 до 150 м, по дну – 80-120 м, а глубина от первоначального уровня поверхности оползня – 23 м. Разница уровней воды в верхнем и нижнем бьефах относительно созданной оползневой плотины с 11 декабря 2018 г. до начала пропуска воды по каналу в феврале 2019 г. достигала 7 м. Ориентировочный расход воды по каналу – до нескольких сотен кубометров в секунду (см. рис. 1э).

Однако возможные негативные последствия оползня могут сказаться 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) на 10-15 м, что приведет к затоплению вышерасположенных территорий, в том числе значительной части 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 привести к дополнительному подъему уровней воды.

Среди других последствий оползня следует указать на возможность активизации весной и в начале лета небольших оползневых тел при оттаивании



Рис. 4. Наледь на борту правого притока в водохранилище в тн-1 (фото А.В. Остроухова).



Рис. 5. Морозобойные трещины на участке выше стенки срыва оползня (фото И.А. Ковтуна).

элювиально-делювиального чехла грунтов, залегающих над верхней кромкой стенки срыва, а с отвесных скальных уступов — камнепадов и обвалов, где уже формируются морозобойные трещины (рис. 5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев М.Д., Онухов Ф.С., Уфимцев Г.Ф. Сбро-сообвалы на северо-западном побережье Охотского моря // Геология и геофизика. 1975. № 8. С. 87-95.
2. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток / Э.Л. Ершов (гл. редактор). М.: Недра, 1989. 515 с.
3. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Хингано-Буреинская. Лист М-52-ХVIII. М.: Госгеолтехиздат, 1962.
4. Геология зоны БАМ. Т. 2. Гидрогеология и инженерная геология / А.И. Шеко (отв. ред.). Л.: Недра, 1988. 447 с.
5. Крамарева Л.С., Лупян Е.А., Амелъченко Ю.А. и др. Наблюдение зоны обрушения сопки в районе реки Бурей 11 декабря 2018 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 7. С. 266-271.
6. Кулаков В.В. Месторождения пресных подземных вод на площади водосборов Зейского и Бурейского водохранилищ // Научные основы экологического мониторинга водохранилищ: матер. Всерос. научно-практ. конф., Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2005. С. 33-35.
7. Махинов А.Н., Поздняков А.В., Гусев М.Н. и др. Крупный оползень в долине р. Зей // География и природные ресурсы. 1993. № 1. С. 175-177.
8. Махинов А.Н., Ким В.И., Остроухов А.В. Крупный оползень в долине реки Бурей и цунами в водохранилище Бурейской ГЭС // Вестник ДВО РАН. 2019. № 2. С. 35-44.
9. Осипов В.И., Бурова В.Н., Заюканов В.Г., Минакова Т.Б. Основы оценки уязвимости территорий для опасных природных процессов, определяющих чрезвычайные ситуации (принципы и методические подходы) // Геоэкология. 2015. № 3. С. 195-203.
10. Остроухов А.В., Ким В.И., Махинов А.Н. Оценка морфометрических параметров оползня на Бурейском водохранилище и его последствий на основе ДДЗЗ и данных полевых измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 254-258.

REFERENCES

1. Alekseev, M.D., Onukhov, F.S., Ufimtsev, G.F. *Sbro-soobvaly na severo-zapadnom poberezh'e Okhotskogo morya* [Faults and rockfalls on the northeast coast of the Okhotsk Sea]. *Geologiya i geofizika*, 1975, no. 8, pp. 87-95. (in Russian)
2. *Geokriologiya SSSR. Vostochnaya Sibir' i Dal'nii Vostok* [Geocryology of the USSR. Eastern Siberia and the Far East]. Ershov, E.D., Ed., Moscow, Nedra, 1989, 515 p. (in Russian)
3. *Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200 000. Seriya Khingano-Bureinskaya. List M-52-XVIII* [Geological map of the USSR to a scale 1:200 000. Khingano-Bureya series. Sheet M-52-XVIII]. Moscow, Gosgeoltekhizdat, 1962. (in Russian)
4. *Geologiya zony BAM. Tom 2. Gidrogeologiya i inzhernaya geologiya* [BAM zone geology. Volume 2. Hydrogeology and engineering geology]. Sheko, A.I., Editor-in-chief. Leningrad, Nedra Publ., 1988, 447 p. (in Russian)

5. Kramareva, L.S. Lupyran, E.A., Amel'chenko, Yu.A. et al. *Nablyudeniye zony obrusheniya sopki v raione reki Bureya 11 dekabrya 2018 goda* [Observations over the hill collapse zone in the vicinity of Bureya River on December 11, 2018]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, vol. 15, no. 7, pp. 266-271. (in Russian)
6. Kulakov, V.V. *Mestorozhdeniya presnykh podzemnykh vod na ploshchadi vodosborov Zeiskogo i Bureiskogo vodokhranilishch* [Fresh groundwater deposits at the drainage areas of Zeya and Bureya water reservoirs]. *Nauchnye osnovy ekologicheskogo monitoringa vodokhranilishch. Mater. Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Scientific fundamentals of ecological monitoring of water reservoirs. Proc. All-Russia scientific and practical conference]. Khabarovsk, IVEP DVO RAN, 2005, pp. 33-35. (in Russian)
7. Makhinov, A.N. Pozdnyakov, A.V., Gusev, M.N. et al. *Krupnyi opolzen' v doline r. Zei* [Large landslide in the Zeya River valley]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 1993, no. 1, pp. 175-177. (in Russian)
8. Makhinov, A.N., Kim, V.I., Ostroukhov, A.V. *Krupnyi opolzen' v doline reki Bureya i tsunami v vodokhranilishche Bureiskoi GES* [Large landslide in the Bureya River valley and tsunami in the Bureya HPP water reservoir]. *Vestnik DVO RAN*, 2019, no. 2, pp. 35-44. (in Russian)
9. Osipov, V.I., Burova, V.N., Zaikanov, V.G., Minakova, T.B. *Osnovy otsenki uyazvimosti territorii dlya opasnykh prirodnykh protsessov, opredelyayushchikh chrezvychainye situatsii (printsipy i metodicheskie podkhody)* [Fundamentals of assessing territory vulnerability to hazardous natural processes causing emergencies (principles and methodical approaches)]. *Geoekologiya*, 2015, no. 3, pp. 195-203. (in Russian)
10. Ostroukhov, A.V., Kim, V.I., Makhinov, A.N. *Otsenka morfometricheskikh parametrov opolznya na Bureinskom vodokhranilishche i ego posledstviya na osnove DDZZ i dannykh polevykh izmerenii* [Estimation of morphometric parameters of landslide on Bureya water reservoir and its consequences on the basis of remote sensing and field measurements]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2019, vol. 16, no. 1, pp. 254-258. (in Russian)

A CATASTROPHIC LANDSLIDE AND TSUNAMI IN THE RESERVOIR OF THE BUREYSKAYA HYDROPOWER PLANT (THE AMUR RIVER BASIN)

© 2019 V. V. Kulakov^{1,*}, A. N. Makhinov¹, V. I. Kim¹, A. V. Ostroukhov¹

¹*Institute of Water and Environmental Problems, the Far East Branch, Russian Academy of Sciences, (IWEF FEB RAS), ul. Dikopol'tseva 56, Khabarovsk, 680000 Russia*

^{*}*E-mail: vvkulakov@mail.ru*

The natural, geological, cryological and hydrogeological conditions and causes of the formation of a catastrophic landslide and tsunami are considered that occurred in the reservoir of Bureyskaya HPP on December 11, 2018. The negative impact of this and other hazardous natural processes on the potential vulnerability of the territory during the water reservoir operation is predicted.

Keywords: *landslide, tsunami, Bureyskaya HPP, water reservoir.*

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019312-20>