

Оценка морфометрических параметров оползня на Бурейском водохранилище и его последствий на основе ДДЗЗ и данных полевых измерений

А. В. Остроухов, В. И. Ким, А. Н. Махинов

*Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, 680000, Россия
E-mail: Ostran2004@bk.ru*

Проанализирован опыт применения геоинформационного моделирования для оперативной оценки морфометрических параметров оползня на Бурейском водохранилище. 11 декабря 2018 г. оползень вызвал полное перекрытие водохранилища в его центральной каньонной части, прекратившее сток речных вод. Сложность проведения работ, определённая неблагоприятными природными факторами, обусловила необходимость использования разнородных данных для оценки морфометрических параметров оползня и его последствий: данных радарного зондирования Земли SRTM v.3, дистанционного зондирования (ДДЗЗ) со спутника Sentinel-2, экспедиционных материалов.

Для определения физических размеров первоначального (на склоне) и конечного (в ложе водохранилища) оползневого тела в программной среде ArcGIS 10.5 были построены цифровые модели поверхности скольжения (по данным спутниковых геодезических измерений (ГНСС-съёмки)) и поверхности оползня (по данным ГНСС-съёмки и промеров глубин). Оценка площадных параметров воздействия волны, вызванной сходом оползня, и определение её высотных характеристик производились на основе анализа данных ДДЗЗ со спутника Sentinel-2, полевых измерений и фотоматериалов, высотных характеристик рельефа в векторном формате. В результате анализа данных ДДЗЗ были выделены территории, где вследствие воздействия воды был уничтожен лес; площадь таких земель составила 300 га. Вдоль внешних границ зоны воздействия на основании полевых измерений, анализа фотоматериалов и данных цифровой модели рельефа (ЦМР) построены изолинии, характеризующие высоту волны. Анализ материалов показывает, что в зоне максимального воздействия высота волны достигала 55–60 м, на удалении до 3 км от оползня — 30 м, зона максимально удалённого воздействия составила 12 км на северо-восток по водохранилищу.

Ключевые слова: Бурейское водохранилище, оползень, геоинформационное моделирование, дистанционное зондирование, цифровая модель рельефа

Одобрена к печати: 15.02.2019
DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-254-258

Для быстрого принятия решений по предотвращению и минимизации ущерба от неблагоприятных геоморфологических явлений большое значение имеет оперативная оценка их морфометрических параметров. Оползень на Бурейском водохранилище, произошедший 11 декабря 2018 г., вызвал полное его перекрытие в центральной каньонной части, прекратив сток воды между Чекундинским и Талаканским равнинными участками (*рис. 1*, см. с. 255) и тем самым создав опасность подтопления населённых пунктов и объектов социально-экономической и транспортной инфраструктуры Верхнебуреинского района Хабаровского края.

Сложность проведения оценки масштабов явления определена двумя основными факторами: во-первых, погодные условия в зоне явления ограничивают использование гражданских беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), которые могли бы обеспечить оперативную аэрофотосъёмку и исходные данные для создания цифровой модели местности (ЦММ); во-вторых, глубины водохранилища в месте схода оползня достигают 70 м, вследствие чего большая часть оползня находится под поверхностью воды и недоступна для прямых ГНСС-измерений.

Совокупность этих факторов определила необходимость использования разнородных данных для оценки морфометрических параметров оползня и его последствий: данных радарного зондирования земли SRTM v.3 (<http://dwtkns.com/srtm30m/>); ДДЗЗ со спутника Sentinel-2

(<https://earthexplorer.usgs.gov/>), имеющих пространственное разрешение 10 м/пиксель в оптическом диапазоне; экспедиционных материалов, включающих в себя результаты кинематической ГНСС-съёмки в реальном времени (режим RTK) тела оползня и поверхности скольжения; промеры глубин подводной части оползня с пространственной привязкой данных; маршрутных исследований с фотофиксацией данных.

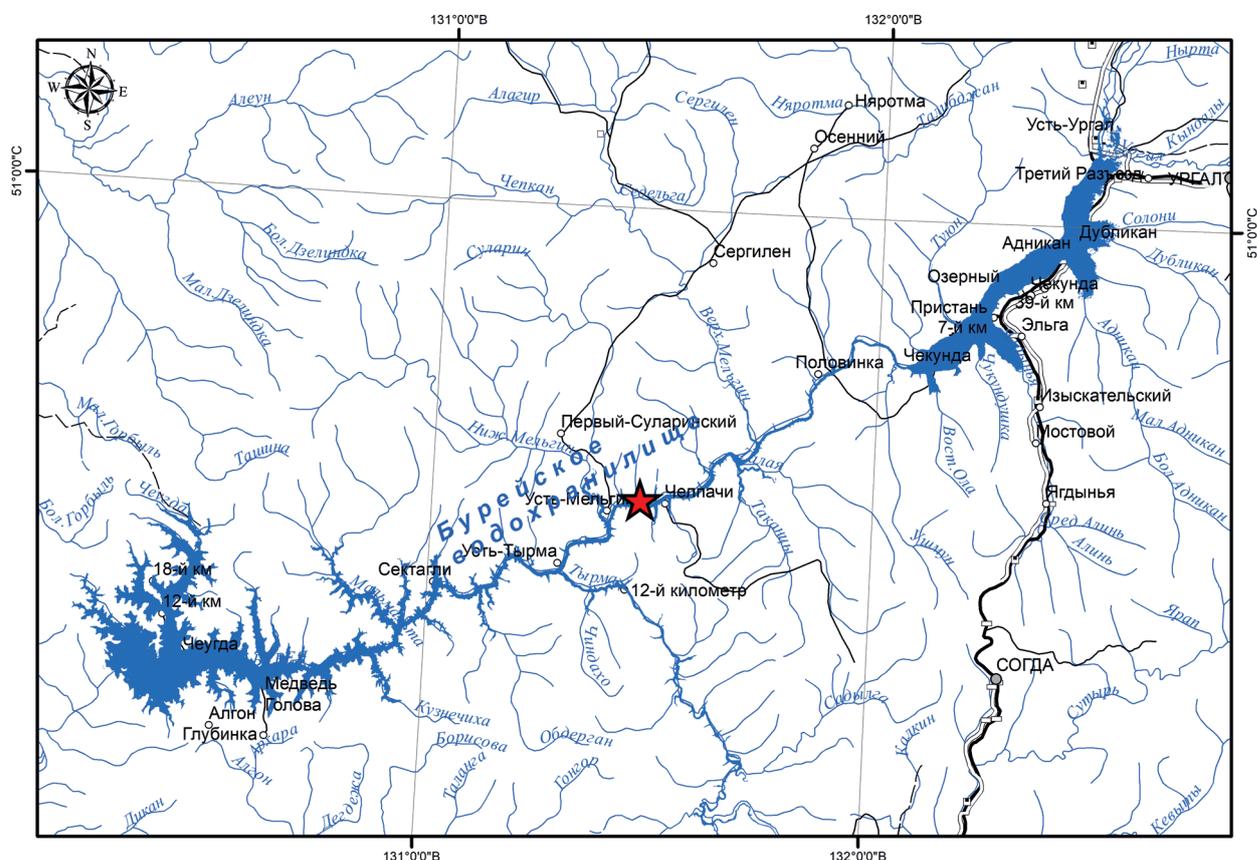


Рис. 1. Положение оползня на акватории Бурейского водохранилища

Исходными данными для построения первоначальной модели поверхности послужила цифровая модель рельефа (ЦМР) на основе данных SRTM v.3, имеющая пространственное разрешение 30 м/пиксель, корректировка разницы высот между системами WGS 84 и Балтийской проводилась на основе ГНСС-измерений. Для определения физических размеров первоначального (на склоне) и конечного (в ложе водохранилища) оползневого тела в программной среде ArcGIS 10.5 с использованием модулей 3D Analyst и Spatial Analyst были построены цифровые модели поверхности скольжения (по данным ГНСС-съёмки) и поверхности оползня (по данным ГНСС-съёмки и промеров глубин, на основании которых определялись высотные отметки дна в абсолютных значениях).

Разница полученных поверхностей позволила рассчитать толщины оползневого тела и его объёмы (таблица, рис. 2, см. с. 256). Как видно из таблицы, присутствуют значительные различия в параметрах исходного и конечного тел оползня. Наблюдается увеличение площади (на 94 %) и объёма (на 20 %) оползневого тела на ложе водохранилища. Это можно объяснить расползанием тела оползня по дну водохранилища, что подтверждается уменьшением его мощности, а также снижением плотности за счёт дробления пород при сходе оползня.

В результате схода оползня возникла волна цунами, которая двигалась в основном на север по руслу и долине ручья Средний Сандар, а также по основному руслу водохранилища на восток и запад. Оценка площадных параметров воздействия водяной волны и определение

её высотных характеристик производились на основе анализа данных ДЗЗ со спутника Sentinel-2 (использовались каналы видимого диапазона с пространственным разрешением 10 м/пиксель), полевых измерений и фотоматериалов, высотных характеристик рельефа в векторном формате (изогипсы с шагом в 10 м, рассчитанные на основе данных SRTM).

Морфометрические параметры оползневого тела

Параметры	Площадь, м ²	Объём, м ³	Максимальная мощность, м
Первоначальное оползневое тело на склоне	273 361	18 896 566	155
Конечное оползневое тело в ложе водохранилища <i>надводная часть</i>	532 128 275 061	23 497 180	94

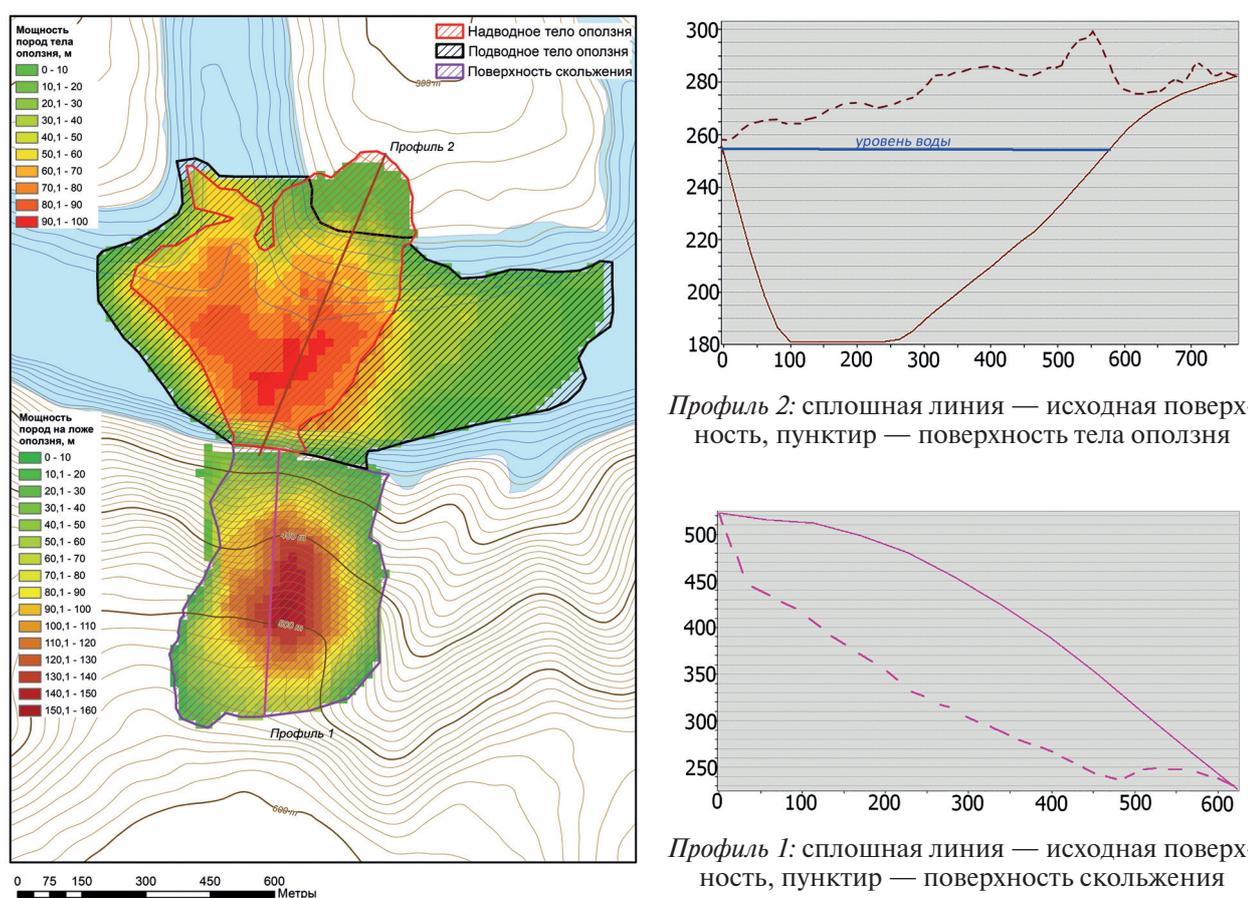


Рис. 2. Морфометрическая модель поверхности скольжения и оползневого тела

В результате анализа данных ДЗЗ (использовались снимки за 12, 14, 19 декабря 2018 г.) были выделены территории, где вследствие воздействия воды был уничтожен лес; площадь таких земель составила 300 га. Вдоль внешних границ зоны воздействия на основании полевых измерений, анализа фотоматериалов и данных ЦМР построены изолинии, характеризующие высоту волны (рис. 3, см. с. 257).

В зоне максимального воздействия высота волны достигала 55–60 м, на удалении до 3 км — 30 м, зона максимально удалённого воздействия составила 12 км на северо-восток по водохранилищу, где отмечалось растрескивание льда при прохождении волны до 1 м, и не менее 4 км на запад от точки схождения оползня (фиксация проведена по данным Sentinel-2, полевых наблюдений не проводилось). Эти данные подтверждают полученные ранее результаты обработки снимков Sentinel-2 (Крамарева и др., 2018).

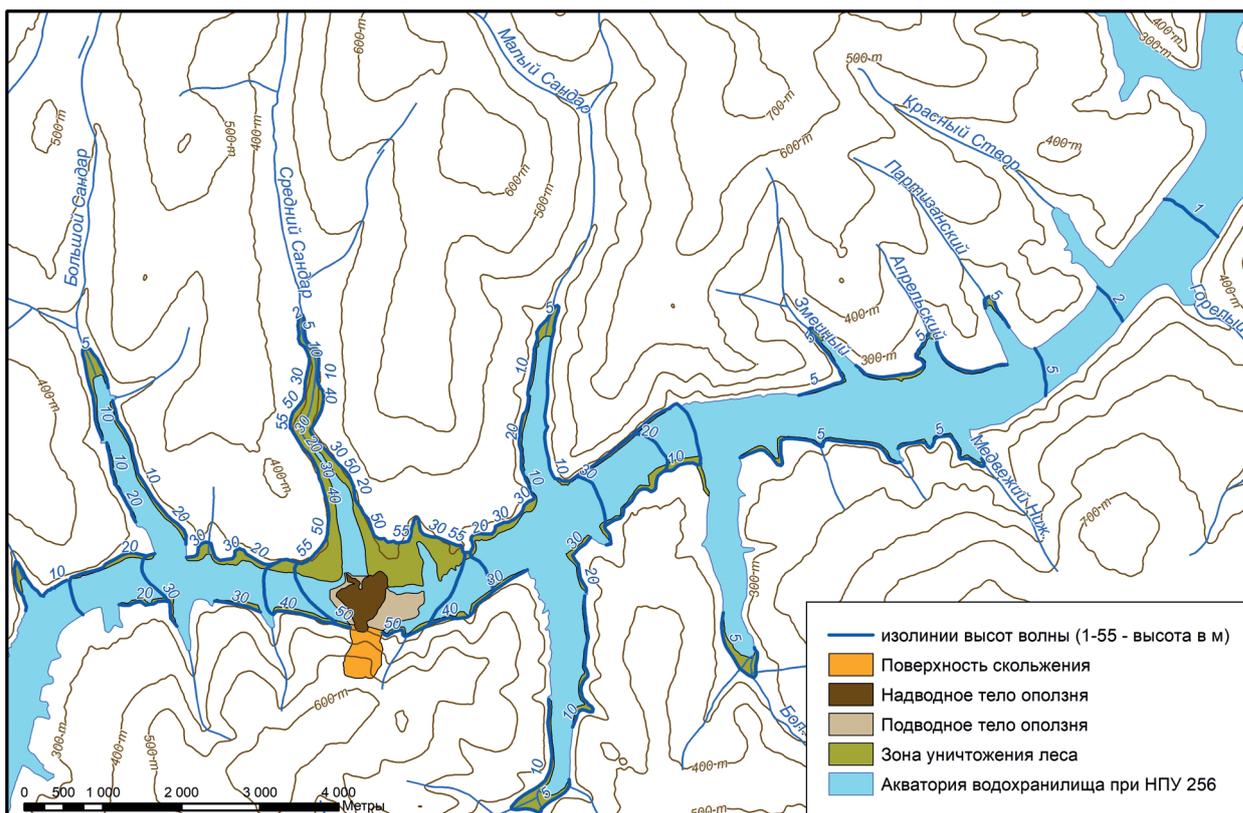


Рис. 3. Зона уничтожения лесной растительности и высота вызванной оползнем волны

Таким образом, несмотря на неблагоприятные условия работ, комплексное использование разнородных данных дистанционных и полевых измерений позволяет в оперативном режиме проводить оценку морфометрических параметров неблагоприятных геоморфологических процессов и их последствий.

Литература

1. Крамарева Л. С., Лупян Е. А., Амельченко Ю. А., Буцнев М. А., Крашенинникова Ю. С., Суханова В. В., Шамилова Ю. А. 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.

Estimation of the morphometric parameters of the landslide on the Bureyskoe Reservoir and its consequences on the basis of remote sensing data and field measurements

A. V. Ostroukhov, V. I. Kim, A. N. Makhinov

*Institute of Water and Ecological Problems FEB RAS, Khabarovsk 680000, Russia
E-mail: Ostran2004@bk.ru*

Application of geoinformation modeling for rapid assessment of the morphometric characteristics of a landslide on the Bureyskoe Reservoir is analyzed. The landslide completely dammed the reservoir in its central canyon part and blocked the flow of river waters on December 11, 2018. The complexity

of undertaking the research is determined by unfavourable environmental conditions that made it necessary to use heterogeneous data to estimate the morphometric parameters of the landslide and its consequences. There were used SRTM V.3.0 Earth's radar sensing data, the Sentinel-2 remote sensing data (RSD) and expedition materials. To determine the physical dimensions of the initial (on the slope) and final (in the reservoir bed) landslide depositions, there were built digital models of the sliding surface (according to satellite geodetic measurements survey data (GNSS)) and the landslide surface (according to GNSS survey and depth measurements in the ArcGIS software environment). The areas damaged by the landslide-induced wave were estimated. Its height characteristics were determined on the base of the analysis of Sentinel-2 remote sensing data, field measurements and photographic materials, and the digital terrain model. As a result of the analysis of ERS data territories were identified where the wave destroyed forest. The area of such lands amounted to 300 hectares. Along the external borders of the exposed areas, isolines characterizing the wave height have been constructed on the basis of field measurements, analysis of photographic materials and digital elevation model (DEM) data. It was founded that the wave height reached 55–60 m in the zone of maximum impact and 30 m at a distance of up to 3 km from the landslide. The zone of the most distant impact stretched 12 km northeast along the reservoir.

Keywords: Bureyskoe Reservoir, landslide, geoinformation modeling, remote sensing, digital terrain model

Accepted: 15.02.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-254-258

References

1. Kramareva L. S., Loupian E. A., Amelchenko Yu. A., Burtsev M. A., Krashennnikova Yu. S., Sukhanova V. V., Shamilova Yu. A., Nablyudenie zony obrusheniya sopki v raione reki Bureya 11 dekabrya 2018 goda (Observation of the hill collapse zone near the Bureya River on December 11, 2018), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 7, pp. 266–271.