



## Оценка потенциального прорыва озера Варшезкуль Нижнее (Памир, Таджикистан) по результатам батиметрической съемки и моделирования

Ю.Х. Раимбеков<sup>1</sup>, У.Р. Пирмамадов<sup>1</sup>, Ф.О. Мародасейнов<sup>1</sup>, И.И. Зикиллобеков<sup>1</sup>,  
А.Г. Гуломайдаров<sup>1</sup>, С.С. Черноморец<sup>2</sup>, Е.А. Савернюк<sup>2</sup>, И.В. Крыленко<sup>2</sup>,  
И.Н. Крыленко<sup>2</sup>, В.М. Кидяева<sup>2</sup>, В.А. Куровская<sup>2</sup>, К.С. Висхаджиева<sup>2</sup>, Р.А. Бобов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Филиал Агентства Ага Хана по Хабитат в Республике Таджикистан, Душанбе,  
Таджикистан, yusuf.raimbekov@akdn.org

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва,  
Россия, sc@geogr.msu.ru

<sup>3</sup>Организация Ага Хана по Развитию, Душанбе, Таджикистан

**Аннотация.** Локальные опасные природные процессы (в основном, камнепады, сходы селей и снежных лавин) часто происходят в горах Таджикистана, в горных селениях существуют современные меры по предупреждению и защите от этих явлений. Однако, отдаленные геологические угрозы высокой магнитуды и низкой повторяемости практически не изучены и представляют большую угрозу для местных сообществ. Сотрудниками Филиала Агентства Ага Хана по Хабитат в Таджикистане совместно с экспертами из Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (Россия) были проведены полевые исследования, включавшие батиметрическую съемку озер, маршрутное обследование долин, по которым могут сойти прорывные сели и паводки, аэросъемку ключевых участков с применением беспилотного летательного аппарата. По результатам исследований проводилось сценарное математическое моделирование возможного прорыва озера Варшезкуль нижнее. Входными данными для моделирования являлись данные о рельефе территории и возможные сценарии прорыва горных озер, результатами моделирования – плановое распределение глубин затопления, скоростей течения и потенциальной опасности в горных долинах ниже прорывоопасного озера. В результате работы выявлены наиболее уязвимые территории в пределах населенных пунктов, расположенных в устьевой части долины р. Варшездара.

**Ключевые слова:** опасные геологические процессы, батиметрическая съемка, моделирование прорыва озера, FLO-2D, Варшезкуль, Агентство Ага Хана по Хабитат в Республике Таджикистан

**Ссылка для цитирования:** Раимбеков Ю.Х., Пирмамадов У.Р., Мародасейнов Ф.О., Зикиллобеков И.И., Гуломайдаров А.Г., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Крыленко И.Н., Кидяева В.М., Куровская В.А., Висхаджиева К.С., Бобов Р.А. Оценка потенциального прорыва озера Варшезкуль Нижнее (Памир, Таджикистан) по результатам батиметрической съемки и моделирования. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 6-й Международной конференции (Душанбе–Хорог, Таджикистан). Том 1. – Отв. ред. С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева. – Душанбе: ООО «Промоушн», 2020, с. 303–312.

## Assessment of a potential outburst for Lower Varshedzkul Lake (Pamir, Tajikistan) using bathymetric survey and modeling

Y.K. Raimbekov<sup>1</sup>, U.R. Pirmamadov<sup>1</sup>, F.O. Marodaseinov<sup>1</sup>, I.I. Zikillobekov<sup>1</sup>,  
A.G. Gulomaydarov<sup>1</sup>, S.S. Chernomorets<sup>2</sup>, E.A. Savernyuk<sup>2</sup>, I.V. Krylenko<sup>2</sup>,  
I.N. Krylenko<sup>2</sup>, V.M. Kidyayeva<sup>2</sup>, V.A. Kurovskaia<sup>2</sup>, K.S. Viskhadzhieva<sup>2</sup>, R.A. Bobov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Branch of the Aga Khan Agency for Habitat in the Republic of Tajikistan, Dushanbe,  
Tajikistan, yusuf.raimbekov@akdn.org

<sup>2</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, sc@geogr.msu.ru*

<sup>3</sup>*Aga Khan Development Network, Dushanbe, Tajikistan*

**Abstract.** Local processes of geological hazards (rock falls, debris flows and avalanches of moderate magnitude) often occur in the mountains of Tajikistan, and the population has learned how to cope with them. Different situation is happening with distant geological threats of high magnitude and low frequency. Employees of the Aga Khan Agency for Habitat, Branch in Tajikistan, together with experts from Moscow State University, Russia, conducted field research, including bathymetric surveying of lakes, route survey of valleys, which can cause breakthrough mudflows and floods, aerial survey of key sites using unmanned aerial vehicle. Modeling of a possible outburst of Lower Varshedzkul Lake is being conducted based on the results of the research. The geomorphological structure of the valley was evaluated. The input data for the simulation were the data on the relief of the territory and possible scenarios for the outburst of mountain lakes, the simulation results were the planned distribution of depths of flooding, flow rates and potential hazard for the mountain valleys below the outburst-hazardous lakes, the time of flooding. The tasks of the work included preparing the relief for modeling, developing scenarios of outbursts or descent of debris flows and floods, estimating the parameters of the outburst hydrographs, modeling the movement of outburst floods and debris flows in the studied valleys and assessing the characteristics of flooding.

**Key words:** *hazardous geological processes, bathymetric survey, simulation of the lake outburst, FLO-2D, Varshedzkul, Branch of the Aga Khan Agency for Habitat in the Republic of Tajikistan*

**Cite this article:** Raimbekov Y.K., Pirmamadov U.R., Marodaseinov F.O., Zikillobekov I.I., Gulomaydarov A.G., Chernomorets S.S., Savernyuk E.A., Krylenko I.V., Krylenko I.N., Kidyayeva V.M., Kurovskaia V.A., Viskhadzhieva K.S., Bobov R.A. Assessment of a potential outburst for Lower Varshedzkul Lake (Pamir, Tajikistan) using bathymetric survey and modeling. In: Chernomorets S.S., Viskhadzhieva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 6th International Conference (Dushanbe–Khorog, Tajikistan). Volume 1. Dushanbe: “Promotion” LLC, 2020, p. 303–312.

## Введение

Горно-Бадахшанская автономная область (ГБАО) расположена в зоне высокого риска опасных природных процессов – землетрясений, оползней, селей и снежных лавин [Атлас..., 1968]. Актуальность исследования заключается в возрастающей хозяйственной нагрузке на территории горных кишлаков, которые традиционно располагаются на конусах выноса и в устьях малых водосборов [Виноградов, 1976, 1977; Тукаев, 2002; Винниченко и др., 2003; Кидяева и др., 2018]. В водосборных бассейнах региона достаточно рыхлообломочного материала для возникновения селей, которые могут привести к катастрофическим последствиям – разрушению водохозяйственных и промышленных объектов, повреждении линий коммуникаций, смыве пашни и других сельскохозяйственных угодий и, в конечном итоге, значительным экономическим ущербам [Тукаев, 2002; Mergili et al., 2011]. В рамках предыдущих работ, проведенных Филиалом Агентства Ага Хана по Хабитат в Республике Таджикистан, были выявлены и нанесены на карты локальные опасные геологические процессы, воздействующие на населенные пункты [Раимбеков, 2012; Раимбеков, Мародасейнов, 2019].

На следующем этапе акцент исследования переместился на верховья бассейнов рек, где расположены потенциально опасные селевые очаги. Основным объектом исследования стали высокогорные озёра, прорывы которых могут вызвать паводки, трансформирующиеся в селевые потоки.

В статье рассмотрены результаты исследований, проведенных совместно Агентством Ага Хана по Хабитат в Республике Таджикистан и Географическим факультетом МГУ им. Ломоносова в бассейне р. Варшездара, одном из селеопасных

бассейнов ГБАО. В ходе полевых работ была проведена батиметрическая съемка высокогорного оз. Варшезкуль и исследована долина р. Варшездара. На основе полученных данных оценена потенциальная опасность прорыва озера, проведено сценарное математическое моделирование прохождения возможных прорывных паводков и селей, построены карты затопления населенных пунктов. Собранные данные были переданы в государственные структуры и местным органам управления с целью привлечь их внимания к возможным прорывам высокогорных озер и подготовленности населения к опасным природным процессам.

### **Цели, задачи и объекты исследования**

Основная цель работы – оценка потенциальной опасности прохождения селевого потока в бассейне р. Варшездара в результате прорыва высокогорных озер, основанная на детальных полевых данных. В рамках данной работы были поставлены следующие задачи – маршрутное обследование бассейна р. Варшездара и выявление геоморфологических особенностей долины, проведение батиметрической съемки прорывоопасного оз. Варшезкуль нижнее, создание батиметрической карты озера, геоморфологическое описание вододерживающей плотины и оценка ее устойчивости, математическое моделирование возможных сценариев прорыва озера. Наиболее важной задачей было создание карт затопления в пределах населенных пунктов, расположенных в устьевой части долины.

Объектами исследования являлись высокогорные озера Варшезкуль верхнее и нижнее (рис. 1), участки долины р. Варшездара, особенно пойменная часть реки и конус выноса. Верховья р. Варшездара располагаются на склонах Шугнанского хребта (максимальная высота 5708 м н.у.м.), река впадает в р. Гунт в районе с. Варшез. Общая протяженность реки составляет 18 км [*Ресурсы...*, 1971], фактическая длина водотока от выхода воды из-под моренно-ледовой запруды оз. Варшезкуль нижнее – 12.7 км. Площадь бассейна – 71.7 км<sup>2</sup>, долина имеет ассиметричную форму, она вытянута с юго-запада на северо-восток, длина долины около 17 км, максимальная ширина в средней части около 7 км (рис. 1). Нижняя часть долины используется для выпаса скота и сельскохозяйственных работ, в устье расположены кишлаки Варшез и Абуали Сино.

### **Методика исследования**

В ходе полевых исследований был пройден пеший маршрут по руслу и правому борту р. Варшездара, с помощью портативного GPS-приемника были определены координаты всех потенциально возможных очагов зарождения опасных природных процессов, было проведено геоморфологическое описание долины, описание вододерживающей перемычки, отмечены каналы стока из озера, термокарстовые просадки, место высачивания озерных вод.

Батиметрическая съемка озера проводилась с моторной надувной лодки с помощью эхолота Lowrance Hook 5 и Lowrance Elite 5. Съёмка глубин озера была выполнена 25 июля 2018 г. эхолотами И.С. Зикиллобековым и И.В. Крыленко. Промеры были привязаны к уровню озера, зафиксированному на созданном и размеченном футштоке с логотипом агентства АКАН (Агентство Ага Хана по Хабитат). Аэросъемка проводилась с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) DJI Phantom 4 С.С. Черноморцем на трех участках долины – оз. Варшезкуль нижнее, участок активного каменного глетчера из левого бокового распада в центральной части долины и конус выноса с расположенным на нем с. Варшез.

Контур береговой линии был отрисован по данным съёмки с БПЛА от 25.07.2018 и GPS-обходов по контуру озера, сделанных И.В. Крыленко и Ф.О. Мародасейновым. В полевых работах участвовали В.М. Кидяева, Е.А. Савернюк, У.Р. Пирмамадов, Ю.Х. Раимбеков, А. Гуломайдаров, И. Елназаров, Ф. Гулобов.

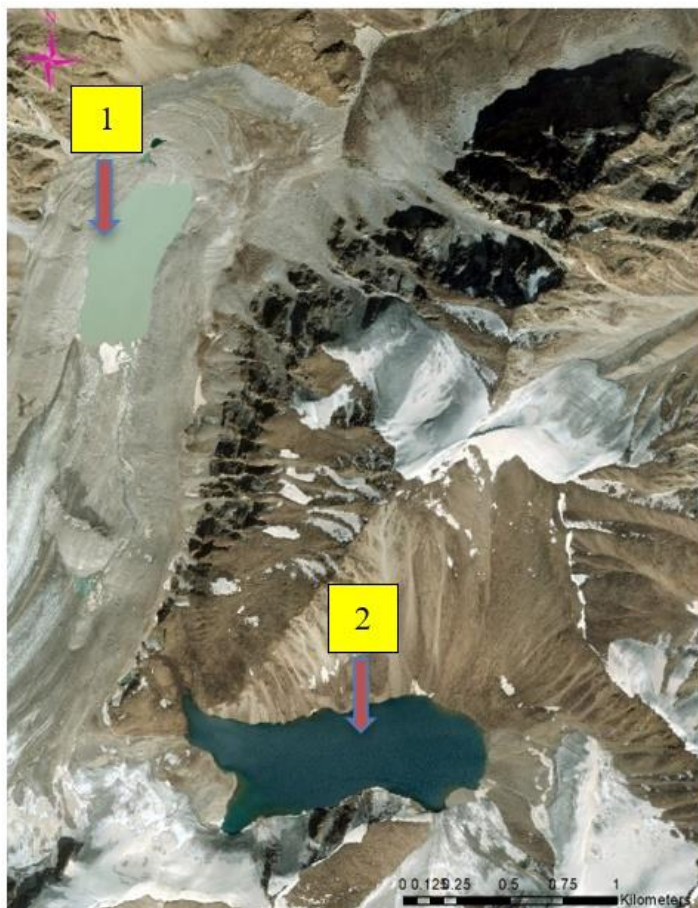


Рис. 1. Расположение озер в верховьях бассейна Варшездара. 1 – Варшездкуль Нижнее, 2 – Варшездкуль Верхнее. Подложка - космический снимок Google

Fig. 1. Location of the lakes in the Varshedzara catchment. 1 – Varshedzkul Lower, 2 – Varshedzkul Upper. Background: the Google satellite image



Рис. 2. Долина реки Варшездара. Фото Ю.Х. Раимбекова

Fig. 2. Varshedzara River valley. Photo: Y.K. Raimbekov.

По результатам съемки построены ортофотопланы высокого разрешения и цифровые модели местности с разрешением от 0.23 м до 1 м, которые использовались



для построения продольных и поперечных профилей долины и для двумерного математического моделирования. Создана батиметрическая карта озера Варшезкуль Нижнее (рис. 3) и рассчитаны его морфометрические характеристики. Построение ортофотоплана и батиметрической карты было выполнено Е.А. Савернюк.

Был измерен расход воды в р. Варшездара на выходе из оз. Варшезкуль.

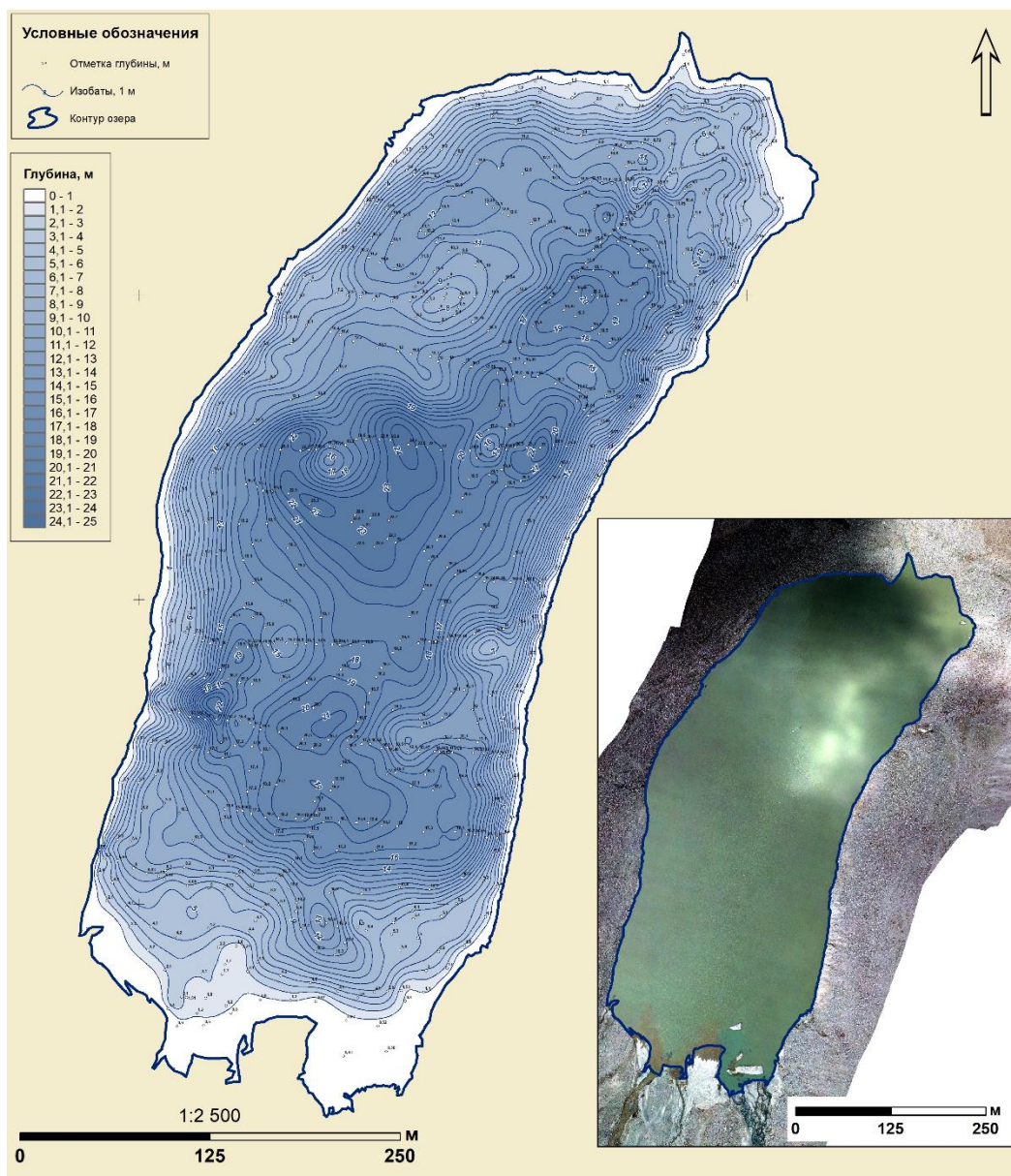


Рис. 3. Батиметрическая карта и ортофотоплан озера Варшезкуль Нижнее по состоянию на 25 июля 2018 г. Составитель карты: Е.А. Савернюк [Черноморец и др., 2018]

Fig. 3. Bathymetric map and orthophoto map of Lake Varshedzkul Lower as of July 25, 2018. Cartographer: E.A. Savernyuk [Черноморец и др., 2018]

Двумерное математическое моделирование движения водных и селевых потоков было проведено В.М. Кидяевой при участии В.А. Куровской с использованием программного комплекса FLO-2D PRO (автор J. O'Brien, <https://flo-2d.com/>) по двум наиболее вероятным сценариям прорыва озера. Сценарии были описаны гидрографами, в которых учитывался возможный объем прорывных паводков, время излияния воды, объем вовлеченного селевого материала, наиболее вероятные параметры селевых

потоков, полученные в предыдущих исследованиях [Petrakov et al., 2012], объемная концентрация наносов (33–35%).

В качестве базовых данных о рельефе территории использовалась цифровая модель рельефа PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) с разрешением 12.5 м. Для русла проводилась проверка корректности рельефа путем построения изолиний с использованием программы ArcGIS 10.2 и анализа продольного профиля. Вдоль русла отметки высот были проинтерполированы с более детальным шагом, а контур русла уточнялся по данным космических снимков и на основе топографических карт масштаба 1:50000.

После корректировки все данные о рельефе для моделирования были проинтерполированы в расчетную сетку модели с шагом 12.5×12.5 м. Данные беспилотной съемки интерполировались в расчетную сетку модели с шагом 5×5 м. Коэффициент шероховатости задавался равным 0.04–0.05, согласно типичным для данных русел значений [Барышников, 2003].

## Результаты исследования

### Параметры озёр

Озеро Варшезкуль Нижнее имеет вытянутую слабоизогнутую форму с выпуклостью к западу. Параметры озера по состоянию на 25 июля 2018 г.: длина 750 м, ширина в средней части 227 м, максимальная глубина 24.5 м, средняя глубина 11.4 м, площадь акватории в летний период 173 тыс. м<sup>2</sup>, периметр 2290 м. Объем воды составил 1.94 млн м<sup>3</sup> [Черноморец и др., 2018].

Озеро лежит в чаше, образованной мертвыми льдами языка ледника Варшез (согласно карте – на абсолютной отметке 4532.5 м, по данным GPS – 4535 м). Современный активный язык ледника находится на южном берегу озера в 100–150 м от уреза воды. С запада и востока берега озера образуют высокие, по 15–25 м гряды мертвых льдов, покрытые рыхлообломочным плащом и круто обрывающиеся к озеру. Северный берег и водоудерживающую плотину озера Варшезкуль Нижнее образует последний по времени образования конечно-моренный вал. Превышение его гребня над озером составляет от 5 до 25 м, низовой откос возвышается над поверхностью нижнего конечноморенного вала на 20–30 м. Предположительно, большая часть вала все еще остается цельным ледовым телом, покрытым чехлом грубообломочной поверхностной морены.

Сток из озера подземный, следов перелива или существования поверхностного водотока не обнаружено. Вода просачивается непосредственно от уреза в пределах полукруглой просадки размером 80×80 м в пологом склоне перемычки. Вода выходит на дневную поверхность у основания вала-запруды в виде родников в полосе шириной около 100 м. В склоне низового откоса запруды над родниками образовалась ниша. Расстояние от уреза воды в озере до полосы выхода воды из-под водоудерживающей плотины около 170 м. Родники находятся ниже уровня воды в озере на 12–15 м. Вода мутная, как и в озере, что указывает на преобладание свободного стока по подземным полостям. Отсутствие следов высокого стояния воды указывает на достаточно высокую в настоящее время пропускную способность подземных каналов стока [Черноморец и др., 2018].

Озеро Варшезкуль Верхнее лежит на высоте 4788.6 м в 15 км от устья. Площадь акватории озера составляет 357 тыс. м<sup>2</sup>, длина – 1000 м, ширина – 300 м. Северный берег крутой скальный, западный и восточный – моренные, на южном к воде выходит два склоновых ледника с разделяющим их скальным гребнем. Прозрачный цвет воды в озере даже в середине периода активного таяния льда указывает на небольшой поверхностный сток в водоем, замедленный водообмен и, вероятно, значительные глубины. Объем воды в озере оценить сложно. Если предположить, что средняя глубина озера составляет около 10 м, то объем составит 3.57 млн м<sup>3</sup>.

*Моделирование прорывных паводков и селей*

При моделировании были рассмотрены два наиболее вероятных сценария возникновения прорывных потоков. Первый сценарий предполагает порыв одновременно двух озер Варшезкуль. Верхнее озеро подпружено скальными породами и может прорваться только в результате падения обвала. Предполагаем, что в случае падения обвала опорожнится половина объема верхнего озера и полностью нижнее озеро, таким образом, объем прорывного паводка составит 3.725 млн м<sup>3</sup>. При объемной концентрации наносов 0.35, объем селевого потока может достичь 5.730 млн м<sup>3</sup>. Максимальный расход прорывного паводка при таком объеме оценивается в 650 м<sup>3</sup>/с, что соответствует расходу селевого потока 1000 м<sup>3</sup>/с. Предполагается, что продолжительность селевого процесса составит 5 ч, гидрограф симметричный (рис. 4а).

Второй сценарий предполагает прорыв только нижнего озера Варшезкуль. Наиболее вероятный сценарий прорыва нижнего озера – развитие внутриледникового канала стока и медленное опорожнение озера. Согласно расчетам по модели Ю.Б. Виноградова [Виноградов, 1976], гидрограф такого прорыва имеет длительный пологий подъем (процесс разработки внутриледникового канала стока) и резкий спад (опорожнение остаточного объема озера). Для предварительной оценки был построен асимметричный гидрограф треугольной формы с максимальным расходом 100 м/с (рис. 4б). Продолжительность опорожнения озера оценена в 12 ч (по географическим аналогам), пик прорывного паводка приходится на 10 ч. Объем водной составляющей селевого потока равен объему озера – 1.94 млн м<sup>3</sup>, максимальный расход селевого потока – 153.8 м<sup>3</sup>/с, соответственно, объем селея – 2.98 млн м<sup>3</sup>.

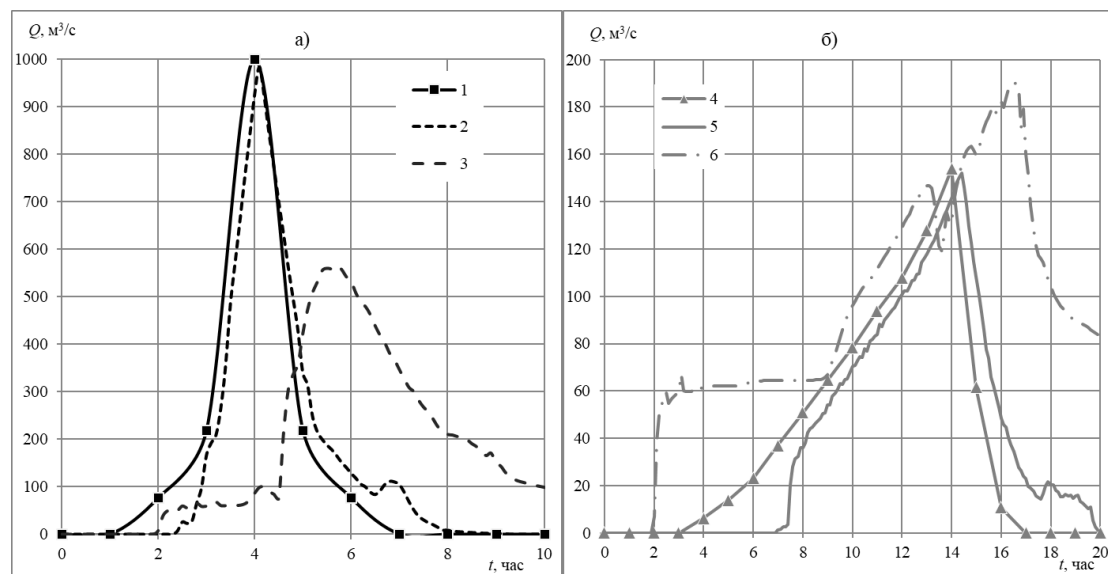


Рис. 4. Полученные по результатам моделирования на основе программного комплекса FLO-2D гидрографы селевого потока (а – сценарий 1, б – сценарий 2): 1, 4 – входной гидрограф селевого потока; 2, 5 – – рассчитанный гидрограф селевого потока на вершине конуса выноса; 3, 6 – рассчитанный гидрограф селевого потока в 6.6 км ниже впадения р. Варшездара в р. Гунт, с учетом р. Гунт

Fig. 4. Model hydrographs of the debris flow simulated on the base of FLO-2D (a – Scenario 1, б – Scenario 2): 1, 4 - input hydrograph of the debris flow, 2, 5 – calculated hydrograph of the debris flow in the upper part of the debris flow fan, 3, 6 - calculated hydrograph of the debris flow in 6.6 km below the confluence of the Varshedzdarra River with the Gunt River (taking into account the Gunt River)

По результатам моделирования прорывных потоков было получено, что время добегания до вершины конуса выноса составляет всего 0.1 ч (0.3 ч для второго сценария), а повышение расхода воды будет наблюдаться через 1.4 ч от начала прорыва (3.5-4 ч для

второго сценария). Такое время добегающего обусловлено катастрофически высоким расходом селевого потока. Максимальный расход селевого потока в вершине конуса выноса составит  $982.8 \text{ м}^3/\text{с}$  (рис. 4а) для первого сценария и  $151 \text{ м}^3/\text{с}$  (рис. 4б) для второго сценария. Форма гидрографа останется практически неизменной в обоих случаях.

Ниже селевой поток будет растекаться по конусу выноса, впадая в р. Гунт с нескольких мест. После впадения в р. Гунт на характеристики паводка влияет режим р. Гунт, но незначительно. Селевой поток преодолеет конус выноса за 1.4 ч в первом сценарии и 2.1 ч во втором. Максимальный расход селевого потока с учетом воды р. Гунт (среднегодовой расход воды  $65 \text{ м}^3/\text{с}$ ) составляет  $565 \text{ м}^3/\text{с}$  (первый сценарий) и  $190 \text{ м}^3/\text{с}$  (второй сценарий) (рис. 4). Согласно расчетам, объемная концентрация потока в р. Гунт снизится до 0.19 (первый сценарий) и 0.12 (второй сценарий) [Черноморец и др., 2018].

Плановые характеристики глубины затопления при прохождении селевых потоков по конусу выноса р. Варшездар в районе селений Варшез и Абуали Сино представлены на рис. 5.

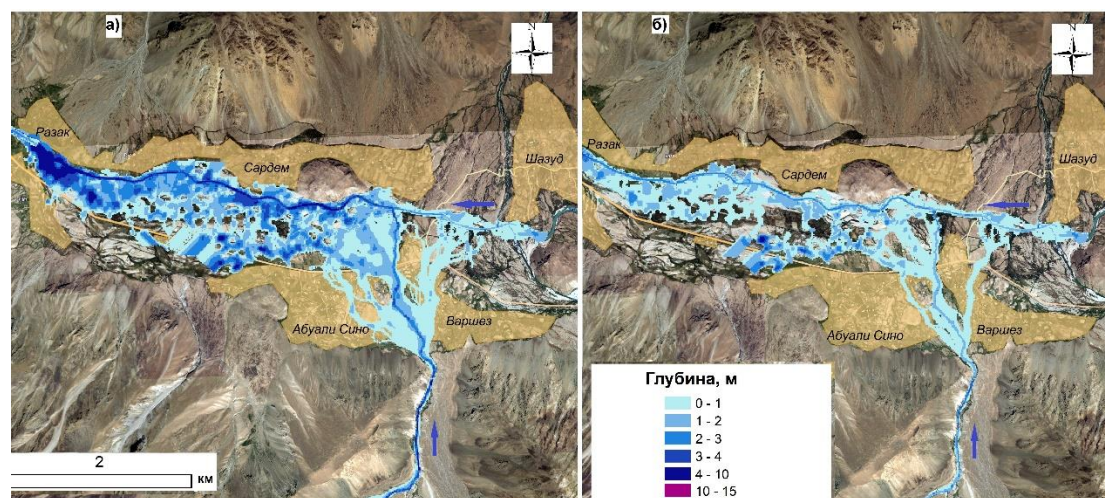


Рис. 5. Плановое распределение глубин затопления при прорывных потоках из озер Варшездар по результатам моделирования на основе программного комплекса FLO-2D (а – сценарий 1, б – сценарий 2)

Fig. 5. Flow depth of the Varshedzara River according to the results of the debris flow simulation based on the FLO-2D software (a – scenario 1, б – scenario 2)

Максимальные глубины потока в русле р. Варшездара в сужениях в первом сценарии достигают 10 м, скорости течения – 12 м/с (2–3 м, до 7 м/с во втором сценарии, соответственно). На конусе выноса р. Варшездара глубина потока достигает 2–3 м в русле. Поток растекается широко по руслу, затопляя дома на правом и левом берегу. В районе моста через реку Варшездара глубина потока составляет 3 м, дорога будет затоплена и, вероятно, разрушена. Скорости течения в русле реки на этом участке также достигают 7–12 м/с (первый сценарий) и 1.5–4 м/с (второй сценарий). Глубины затопления на р. Гунт не превышают в среднем 3–5 м по фарватеру и достигают 10 м перед сужением у с. Разак (первый сценарий) и 4 м (второй сценарий). Скорости течения – 4–7 м/с по фарватеру и 1.5–3 м/с на расширениях. В зоне затопления по р. Гунт находятся дома в поселке Сардем на правом берегу реки и почти весь левый берег. Ниже с. Разак селевой поток затопляет поселки Мийоншахр, Окмамад, Чарсем, Тангиф, затоплены дома и дорога на левом берегу реки. На всех участках моделирования опасность селевого потока и наносоводного паводка средняя и максимальная.



## Заключение

По материалам батиметрических съемок и съемок с беспилотных летательных аппаратов составлена батиметрическая карта оз. Варшезкуль нижнее в долине р. Варшездара, измерены его морфометрические характеристики. На озере создан футшток для последующего мониторинга. Проанализировано геоморфологическое строение долины р. Варшездара ниже озера. Для долины р. Варшездара адаптирована двумерная модель движения водных и селевых потоков FLO-2D. Выполнены сценарные расчеты характеристик затопления, потенциальной опасности и времени добегания прорывных селей и паводков в случае прорыва обоих озер Варшезкуль верхнее и нижнее или только нижнего озера.

По долине р. Варшездара оба сценарных потока движутся с катастрофическими скоростями, время добегания первого потока до конуса выноса – всего 0.1 ч, второго – 0.3 ч. Максимальные глубины при катастрофическом потоке по первому сценарию достигают 10 м, скорости течения – 12 м/с. В наиболее широких частях речной долины глубина потока – до 3 м, скорости течения – до 3 м/с. При моделировании по обоим сценариям потоки затапливают конус выноса с глубинами до 3–4 м, скоростями течения до 3 м/с.

Затапливаются все населенные пункты на левом берегу р. Гунт (Варшез и Абуали Сино), а также частично дома в пос. Разак и Сардем. Ниже по р. Гунт селевой поток затапливает частично поселки Мийоншахр, Окмамад, Чарсем, Тангиф (дома и дорога на левом берегу реки).

## Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Филиала Агентства Ага Хана по Хабитат в Республике Таджикистан, а также в рамках государственного задания МГУ имени М.В.Ломоносова по теме I.7 АААА-А16-116032810093-2 «Картографирование, моделирование и оценка риска опасных природных процессов» и при частичной поддержке проекта РФФИ 18-05-00520.

## Список литературы

- Атлас Таджикской ССР. Душанбе-Москва: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1968. 200 с.
- Барышников Н.Б. Гидравлические сопротивления речных русел. С.-Пб.: Изд-во РГГМУ, 2003. 147 с.
- Винниченко С.М., Бахтдавлатов Р. Д., Шафиев Г.В., 2003. Снижение степени риска при катастрофических последствиях геологических процессов на горных сейсмоактивных территориях. // Материалы международной конференции по организации мониторинга за оползнями в Центральной Азии, Ташкент, 2003, с. 58-60.
- Виноградов Ю.Б. Метод расчета гидрографа паводка при прорыве подпруженного ледником озера. // Селевые потоки, сб. 1. М.: Гидрометеиздат, 1976. С. 138–153.
- Виноградов Ю.Б. Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. Ленинград: Гидрометеиздат, 1977.
- Кидяева В.М., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.Н., Докукин М.Д., Висхаджиева К.С., Бобов Р.А., Пирмамадов У.Р., Мародасейнов Ф.О., Раимбеков Ю.Х., Курбонмамадов Д.А., 2018. Моделирование прорывов горных озер и селевых потоков в Горно-Бадахшанской автономной области, Таджикистан. // Третьи Виноградовские чтения. Грани гидрологии, Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского гидролога Юрия Борисовича Виноградова, Санкт-Петербург, 2018, с. 897–902.
- Раимбеков Ю.Х., 2012. Исследование геологических угроз Горного Бадахшана Республика Таджикистан. // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования, № 1, с. 96-100.

- Раимбеков Ю.Х., Мародасейнов Ф.О., 2019. Опасные природные процессы и явления на малых водосборах в бассейне реки Гунт (Горно-Бадахшанская автономная область, республика Таджикистан). // Геориск, № 2, с. 52-62.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 14. Средняя Азия. Выпуск 3. Бассейн р. Амударьи. –Л.: Гидрометеоздат, 1971. 472 с. <http://www.cawater-info.net/library/rus/hist/resources-amudarya/>
- Тукеев О.В. Селевые явления Памира: Катастрофы, закономерности, прогноз. Москва, 2002. 176 с.
- Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Крыленко И.Н., Кидяева В.М., Рудой А.Н., Висхаджиева К.С., Аршинова М.А., Куровская В.А. Батиметрическая съемка озер Куленкуль (Дузахдара), Варшезкуль, Патхур (Чапдара), Джизев, Хавраздара и моделирование возможных прорывов. М.: Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, 2018. 278 с.
- Mergili M., Schneider D., Worni R., Schneider J.F., 2011. Glacial lake outburst floods in the Pamir of Tajikistan: challenges in prediction and modelling. 5th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment, University of Padova, Italy, 2011, p. 75.
- Petrakov D.A., Tutubalina O.V., Aleinikov A.A., Chernomorets S.S., Evans S.G., Kidyaeva V.M., Krylenko I.N., Norin S.V., Shakhmina M.S., Seynova I.B. Monitoring of Bashkara glacier lakes (Central Caucasus, Russia) and modelling of their potential outburst. // Natural Hazards. 2012. Vol. 61. No. 3. P. 1293–1316. DOI:10.1007/s11069-011-9983-5. 38.