

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ИНСТИТУТ АРИДНЫХ ЗОН
ЮЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**ЭКОЛОГИЯ
ЭКОНОМИКА
ИНФОРМАТИКА**

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ**

Том 2

Сборник статей

Ростов-на-Дону
2016

УДК 502.3
ББК 20.1+20.18
Г 35

Рецензенты

д.г.н. Бердников С.В., д.ф.-м.н. Тютюнов Ю.В.

Редакционная коллегия:

*Академик Матишов Г.Г.(главный редактор),
д.э.н. Боровская М.А., к.ф.-м.н. Сурков Ф.А., к.г.н. Базелюк А.А.,
к.т.н. Архипова О.Е., к.ф.-м.н. Селютин В.В., к.т.н. Бойко В.В.*

Г 35 Экология. Экономика. Информатика. Сборник статей: в 2-х т. Т. 2: Геоинформационные технологии и космический мониторинг Выпуск 1. – Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. – 348 с. ISSN 2500–123X

Публикуется с максимальным сохранением авторской редакции.

В сборнике представлены статьи ведущих специалистов и молодых ученых, посвященные геоинформационным технологиям, космическому мониторингу и исследованиям в области экологического развития, нацеленным на решение задач охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности на новом технологическом уровне.

***Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
по проекту 6-35-10211 мол-г***

ISSN ISSN 2500–123X

УДК 502.3
ББК 20.1+20.18

© Институт аридных зон, 2016
© Южный научный центр РАН, 2016
© Южный федеральный университет, 2016

ОЦЕНКА СЕЛЕВОЙ ОПАСНОСТИ В ТРАНСГРАНИЧНОМ БАССЕЙНЕ ШАХИМАРДАН (КИРГИЗИЯ-УЗБЕКИСТАН) ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ПОЛЕВЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ¹

*Черноморец С.С.¹, Севернюк Е.А.², Висхаджиева К.С.³, Петраков Д.А.⁴,
Петров М.А.⁵, Ерохин С.А.⁶, Докукин М.Д.⁷, Тутубалина О.В.⁸, Глазырин Г.Е.⁹,
Соколов Л.С.¹⁰, Шпунтова А.М.¹¹, Штоффел М.¹²*

^{1, 2, 3, 4, 8, 10, 11}Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

^{5, 9}Институт геологии и геофизики им. Х.М. Абдуллаева Национальной Академии наук
Узбекистана, Ташкент, Узбекистан

⁶Институт водных проблем и гидроэнергетики Национальной Академии наук
Кыргызстана, Бишкек, Кыргызская Республика

⁷Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Россия

¹²Бернский университет, Институт геологических наук, Берн, Швейцария

e-mail: ¹devdorak@gmail.com, ²savernyuk@gmail.com, ³vishadgieva_k@mail.ru,

⁴dpetrakov@gmail.com, ⁵maxpetr1962@gmail.com, ⁶erochin@list.ru,

⁷inrush@bk.ru, ⁸olgatut@mail.ru, ⁹gleb.glazirin@gmx.net,

¹⁰leo.falconson@gmail.com, ¹¹schpuntik93@mail.ru, ¹²markus.stoffel@dendrolab.ch

ВВЕДЕНИЕ

В Центральной Азии в настоящее время наблюдается активная деградация горного оледенения. Это приводит к нарушению устойчивости моренно-ледниковых комплексов и является одним из ведущих факторов, обуславливающих формирование здесь селевых потоков гляциального генезиса. Трансграничность многих селевых бассейнов центральноазиатского региона и их хозяйственное освоение обуславливают необходимость выявления конкретных факторов, определяющих высокую степень их селевой опасности, а также оценки возможных последствий схода селей.

Летом 2014 г. селевым отрядом географического факультета МГУ был изучен бассейн реки Шахимардан (Алайский хребет) (рис. 1). Он отличается высоким уровнем селевой активности и катастрофическим характером селей. Бассейн расположен на северном склоне Алайского хребта и характеризуется наличием современного горного оледенения в верховьях рек. В нем неоднократно сходили селевые потоки, в том числе и довольно разрушительные, как например сель 1977 года [1]. 8 июля 1998 г. здесь сошел катастрофический селевой поток,

¹ Работы выполнены при поддержке РФФИ (проекты 14–05–00768 и 15–05–08694) и Swiss National Science Foundation (проект 152301).

который привел к гибели более 100 человек и нанес колоссальный ущерб инфраструктуре и хозяйству узбекского анклава Шахимардан [2]. Причины селя так до конца и не были выяснены, отсутствуют научные публикации о событии.

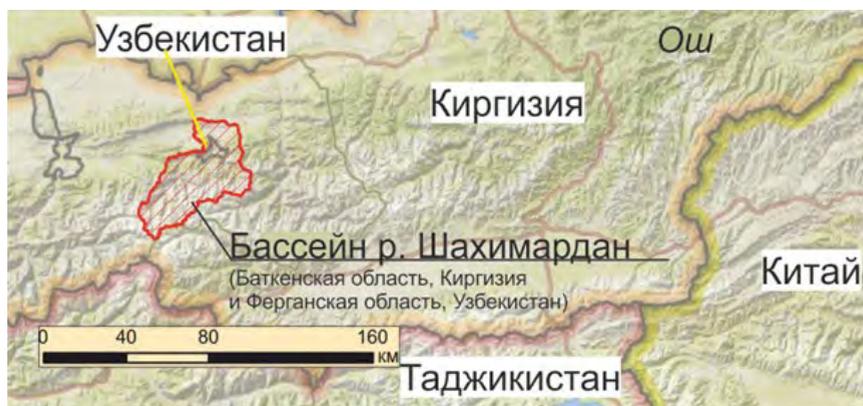


Рис. 1. Схема расположения исследуемого участка бассейна р. Шахимардан (в качестве подложки использован базовый слой ESRI ArcMap)

Методы исследований. В ходе полевых исследований проводились геоморфологические описания точек наблюдения, координаты которых фиксировались с помощью карманного GPS-приемника Garmin GPSMap 60s. При исследовании долин селевых рек точки выбирались таким образом, чтобы можно было проследить изменения в строении селевого бассейна от зоны зарождения до зоны аккумуляции. С этой целью на каждом из участков соответствующих литодинамических зон (подпитки, транзита, транзитно-аккумулятивных, преобладающей аккумуляции) зарисовывался поперечный профиль долины реки, отмечался ее уклон, а также морфология и размеры форм селевого рельефа (валов, террас, полей и полос аккумуляции, конусов выноса). При проведении измерений использовалась как глазомерная съемка, так и инструментальная (лазерным дальномером). Подробно обследовались селевые очаги: их морфология, генезис, устойчивость скальных пород к выветриванию, потенциал мобилизации для рыхлообломочных пород. Велись описание и зарисовка разрезов рыхлых моренных и озерных отложений, служащих поставщиками твердой составляющей селей. Кроме того, фиксировались такие характеристики селевых отложений, как гранулометрический состав, текстура, сортировка, окатанность, наличие или отсутствие цементированности, которые позволяют установить тип селя (грязе- или водокаменный) и особенности движения конкретного селевого потока.

Особое место в полевых исследованиях занимало изучение ледниковых озер. Так, в бассейне реки Шахимардан проводились работы на ледниковом озере Кара-Казык, расположенном в верховьях одноименной реки. Выполнена батиметрическая съемка озера с помощью эхолота с надувной лодки, и гляцио-геоморфологическое описание озера: отмечались характер подпруживающей его

плотины, особенности протекающих процессов (в частности, термокарстовых), исследовались условия дренажа озера, морфологические особенности долины реки ниже озера (уклоны русла, ширина днища, наличие поверженных размыву толщ рыхлых отложений).

В ходе маршрутных исследований выполнялось полевое дешифрирование космических снимков, картографировались обвальные, оползневые, осыпные и снеголавинные процессы. Идентификация этих процессов важна, так как они поставляют в русло обломочный материал и могут выступать в роли триггерных механизмов при зарождении селевых потоков.

При изучении селевых русел проводилось выделение литодинамических зон [3]. При литодинамическом зонировании учитывается ряд факторов. Во-первых, на протяжении селевого русла (от селевого очага до селевого конуса) могут образовываться промежуточные зоны аккумуляции, несколько зон транзита, зоны подпитки. Во-вторых, пространственное расположение зон и их набор в большинстве случаев являются индивидуальными для каждого случая схода селевого потока. В связи с этим в бассейне реки Шахимардан, где наблюдался сход катастрофического селевого потока в 1998 году и следы которого сохранились в рельефе, во время маршрутных исследований было проведено литодинамическое зонирование с составлением поперечных профилей для каждой из зон и GPS-съемкой границ.

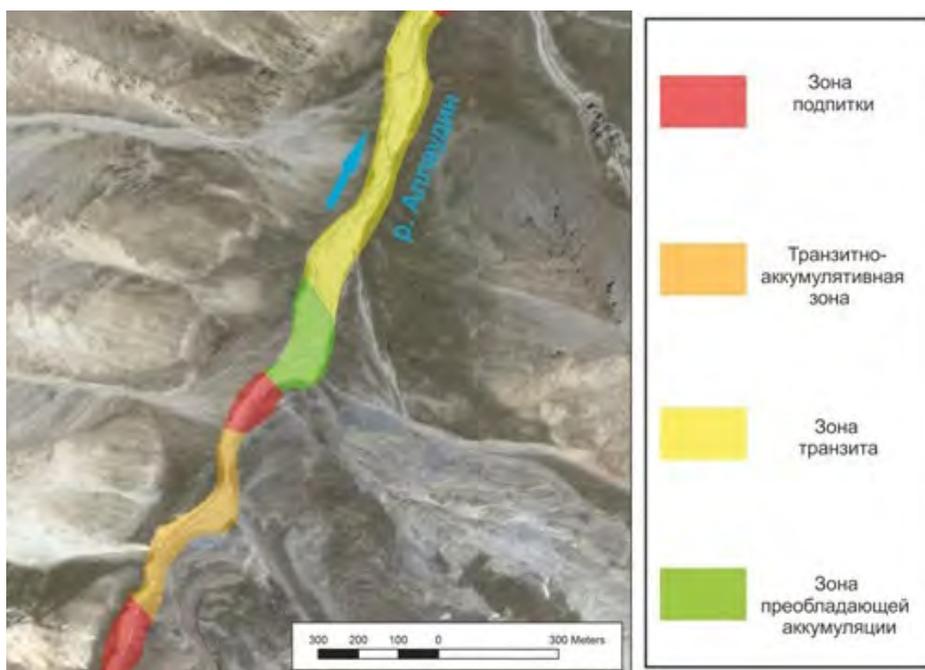


Рис. 2. Схема литодинамических зон участка селевого русла реки Аллаудин (бассейн р. Шахимардан)

Для выделения литодинамических зон помимо полевых данных применялось визуальное дешифрирование космических снимков Landsat8 (разрешение 30 м, съемка 2014 г.) и GeoEye (разрешение 0,6 м, съемка 2008–2014 гг.), предоставляемые сервисом GoogleEarth.

Дешифрирование в программе ESRI ArcMap 10.2 проводилось с использованием прямых и косвенных дешифровочных признаков [4], в масштабе от 1:10 000 до 1:5 000, что соответствует детальности, необходимой при идентификации исследуемых объектов. Впоследствии оформление результатов осуществлялось в масштабе 1:100 000.

Для оценки условий селеформирования анализировались также данные о температурах и осадках в период, предшествовавший катастрофе 1998 г. по данным метеостанций и спутниковой миссии TRMM [5].

КАТАЛОГИЗАЦИЯ ЛЕДНИКОВЫХ ОЗЕР

Оценка опасности формирования катастрофических селевых потоков в условиях деградации горного оледенения и образования ледниковых озер, когда в качестве триггерного механизма может выступать прорыв этих озер [6], требует оценки их потенциальной прорывоопасности. Процесс прорыва плотины, подпруживающей озеро, сложно точно предсказать, однако известен набор факторов, от которых зависит возможность протекания данного процесса, а также его скорость. К таким факторам обычно относят площадь и объем озера, а кроме того потенциально возможный максимальный расход прорывной волны [7]. Кроме того, важно учитывать тип ледникового озера, а также характер подпруживающей его плотины. Таким образом, степень прорывоопасности озера является интегральным оценочным показателем, учитывающим множество факторов. Согласно методике, предложенной в [8], был сформирован набор параметров, которые, с одной стороны, влияют на степень прорывоопасности озер и возможность зарождения селевого потока в случае прорыва, а с другой, могут быть определены по имеющимся данным.

К таким параметрам были отнесены:

- площадь озера
- характер стока (нет стока, поверхностный, подземный)
- тип плотины (аллювиальные, скальные, коллювиальные, моренные, ледяные)
- положение озера по отношению к телу ледника (супрагляциальные, прогляциальные, перигляциальные, экстрагляциальные)
- каскадность озер в одной долине
- расстояние до населенного пункта
- крутизна продольного профиля русла

Удобным приемом для сведения воедино всех факторов, влияющих на прорывоопасность озер, является создание геоинформационного каталога. Для этого использовалась программа ESRI ArcGIS.

В каталоге параметрам озер были сопоставлены баллы по итогам экспертной оценки, и была проведена интегральная оценка их прорывоопасности по сумме баллов. Затем проводилось деление бассейнов озерами по степени опасности развития в них катастрофических селевых процессов при прорывах озер:

- Безопасные бассейны – все озера с очень низкой степенью опасности
- Потенциально опасные бассейны – имеется хотя бы одно озеро с низкой степенью прорывоопасности.
- Опасные бассейны – имеется хотя бы одно озеро с высокой степенью прорывоопасности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе полевых работ в июле 2014 года удалось установить особенности движения селевого потока 1998 г. (выявить зоны набора и сброса материала, участок, где селя трансформировался в селевой паводок). Нами был оценен его примерный объем, который оказался равным около 2 млн м³. Кроме того, собрана информация, необходимая для анализа причин события.

Было отчасти подтверждено заключение специалистов, обследовавших зону зарождения на следующий день после катастрофы, о том что причиной селя стал прорыв озер, каскадом расположенных в верховьях реки Арча-Баши. Активное накопление воды происходило вследствие высоких температур и активного таяния ледника (согласно метеоданным станции «Ледник Абрамова», которая расположена в соседней долине). Анализ космических данных TRMM показал, что июнь 1998 года был аномально дождливым. Возможно, это и стало причиной небывалой разрушительности селя. Открытым продолжает оставаться вопрос о возможном прорыве внутриледниковой полости (гипотеза основана на опросах местных жителей-очевидцев события), а также о роли обвала, который был обнаружен в ходе полевых работ на поверхности ледника.

По результатам оценки прорывоопасности озер и степени опасности бассейнов были составлена карта опасности развития катастрофических селевых процессов при прорывах ледниковых озер для участка бассейна р. Шахимардан в масштабе 1:100 000 (рис. 3).

Собранные полевые данные и результаты дешифрирования космических снимков позволили сделать вывод, что основным фактором, обуславливающим высокую степень селевой опасности бассейна р. Шахимардан, были и остаются прорывы озер и внутриледниковых полостей, формирующихся в условиях активной динамики моренно-ледникового комплекса.

Поэтому для поддержки прогнозирования будущей селевой опасности на изучаемой территории к каталогу озер бассейна р. Шахимардан был добавлен каталог ледников, каменных глетчеров и селевых русел (рис. 4).

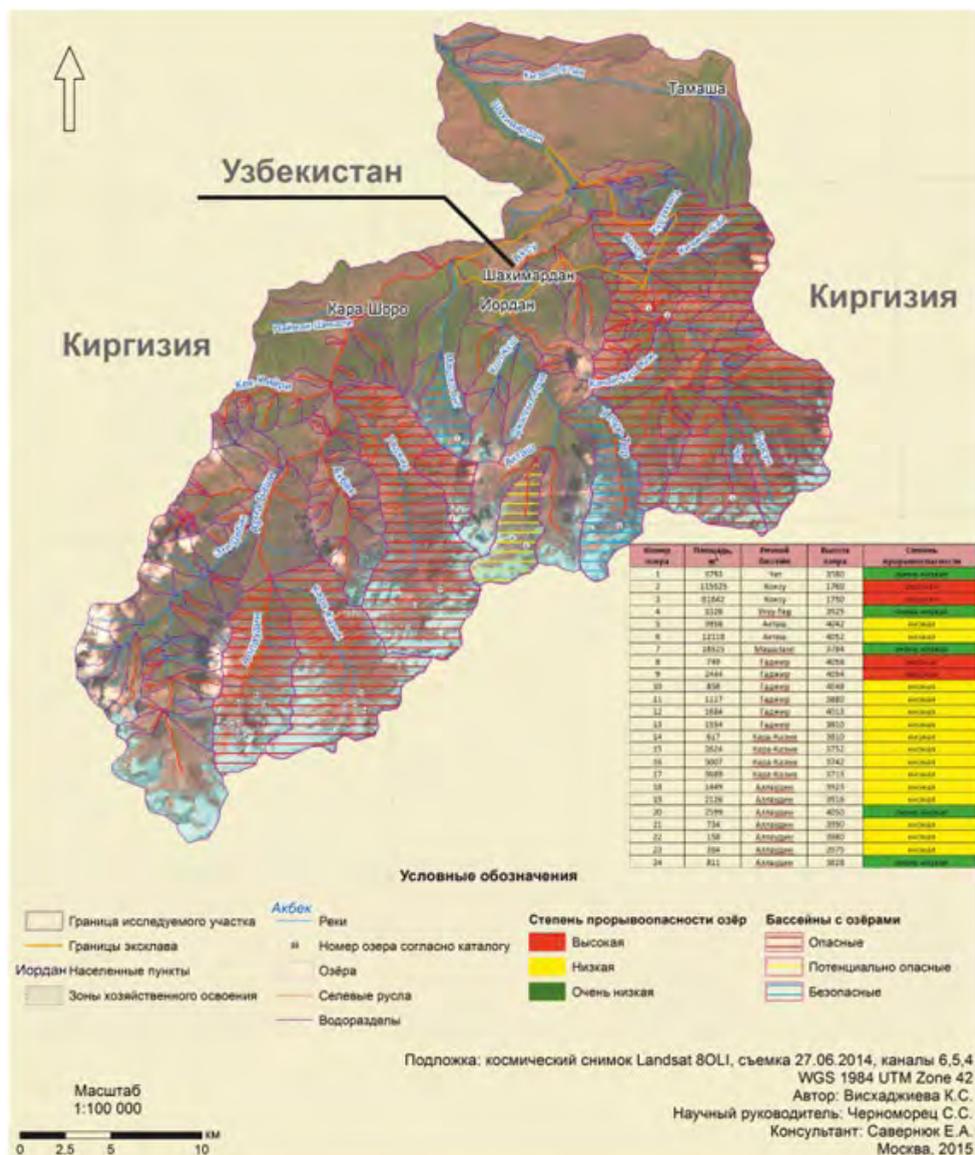


Рис. 3. Карта опасности развития катастрофических селевых процессов при прорывах ледниковых озер для участка бассейна р. Шахмардан (уменьшенное изображение)

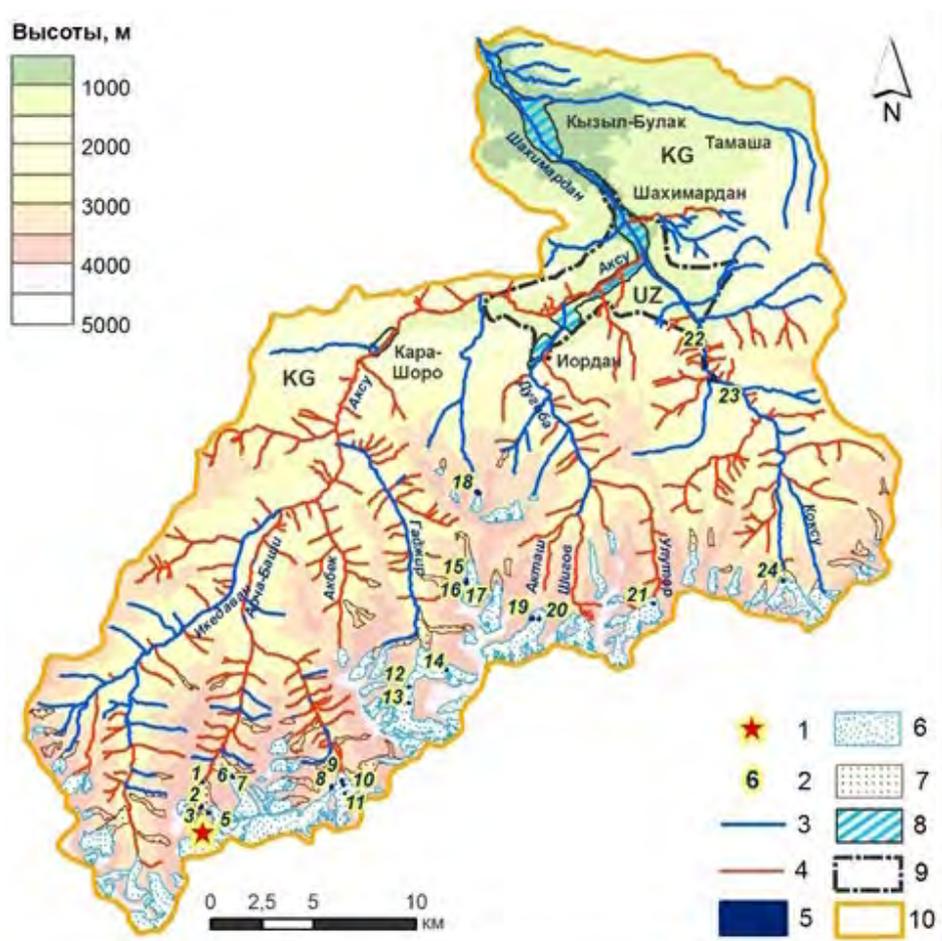


Рис. 4. Карта селевых русел, озер, ледников и каменных глетчеров участка бассейна р. Шахимардан. 1 – зона зарождения селевого потока 1998 года, 2 – номер озера согласно составленному каталогу, 3 – русла рек, 4 – селевые русла, 5 – озера, 6 – ледники, 7 – каменные глетчеры, 8 – населенные пункты, 9 – границы анклава Шахимардан (Узбекистан), 10 – границы исследуемого участка бассейна р. Шахимардан

ВЫВОДЫ

Бассейн реки Шахимардан является ярким примером рек Алайского хребта и характеризуется высокой степенью селевой опасности. Трансграничность реки и активное хозяйственное освоение днищ долин приводит к тому, что селевые потоки становятся катастрофическими. В настоящее время наибольшую опасность в бассейне представляют собой гляциальные сели и, в частности, сели, образующиеся при прорывах озер и внутриледниковых полостей.

Список литературы

1. Булукулов Ю.Г. Горы и люди. – Ташкент: Мехнат, 1986. – 159 с.
2. Айтматов И., Алманов С. Наука, горы и катастрофы // Слово Кыргызстана. – 2012. – 4 декабря.
3. Черноморец С.С. Селевые очаги до и после катастроф. – М.: Научный мир, 2005. – 184 с.
4. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. – М.: АСПЕКТ ПРЕСС, 2004. – 184 с.
5. Huffman G.J., Adler R.F., Bolvin D.T., Gu G., Nelkin E.J., Bowman K.P., Hong Y., Stocker E.F., Wolff D.B. The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis: Quasi-Global, Multi-Year, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scale / J. Hydrometeor. – 2007. – No. 8. – P. 38–55.
6. Mergili M., Schneider D., Worni R., Schneider J.F. 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. Padua, Italy – 14–17 June 2011.
7. Коновалов В.Г. Дистанционный мониторинг прорывоопасных озер на Памире // Криосфера Земли. – 2009. – № 4. – С. 80–89.
8. Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Докукин М.Д., Тутубалина О.В., Висхаджиева К.С. Оценка селевой опасности высокогорных озер в Северном Афганистане: методика и результаты // Геоморфологические ресурсы и геоморфологическая безопасность: от теории к практике: Всероссийская конференция «VII Шукинские чтения». Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 18–21 мая 2015 г.: мат-лы конфер. – М.: МАКС Пресс, 2015. – С. 193–196.

ASSESSMENT OF THE DEBRIS FLOW HAZARD IN THE TRANSBOUNDARY SHAKHIMARDAN CATCHMENT (KYRGYZSTAN-UZBEKISTAN) ON THE BASIS OF REMOTE SENSING AND FIELD DATA

Chernomorets S.S.,¹ Savernyuk E.A.², Viskhadzhieva K.S.³, Petrakov D.A.⁴, Petrov M.A.⁵, Erokhin S.A.⁶, Dokukin M.D.⁷, Tutubalina O.V.⁸, Glazirin G.E.⁹, Sokolov L.S.¹⁰, Shpuntova A.M.¹¹, Stoffel M.¹²

^{1, 2, 3, 4, 8, 10, 11}M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

^{5, 9}Kh.M. Abdullaev Institute of Geology and Geophysics, National Academy of Sciences of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

⁶Institute of Water Problems and Hydropower, National Academy of Sciences of Kyrgyzstan, Bishkek, Kyrgyzstan

⁷High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russia

¹²Institute of Geological Sciences, University of Bern, Bern, Switzerland

e-mail: ¹devdorak@gmail.com, ²savernyuk@gmail.com, ³vishadgieva_k@mail.ru,

⁴dpetrakov@gmail.com, ⁵maxpetr1962@gmail.com, ⁶erochin@list.ru,

⁷inrush@bk.ru, ⁸olgatut@mail.ru, ⁹gleb.glazirin@gmx.net,

¹⁰leo.falconson@gmail.com, ¹¹schpuntik93@mail.ru, ¹²markus.stoffel@dendrolab.ch

Abstract. Recent glacier shrinkage lead to formation and growing of glacier lakes in many regions including Central Asia. Glacier lake outburst floods (GLOFs) pose significant threat downstream, because they transform into destructive debris floods / debris flows at steep terrain and mobilise large volumes of loose material. The deadliest debris flow / flood disaster in Central Asia occurred on 7 July 1998 in Shakhimardan transboundary catchment which spans Kyrgyzstan (Osh Region) and Uzbekistan (Ferghana Region). About 100 people perished, infrastructure and houses of about 5000 people were damaged. The area was briefly investigated after the event, but no detailed scientific analysis of the debris flow was published. We have conducted a field expedition to the catchment in 2014 to investigate source areas of the debris flow. Detailed field research was followed by analysis of remotely-sensed data and resulted in the lithodynamic reconstruction of the 1998 event, an inventory of current glacier lakes, glaciers, rock glaciers and debris flow-prone river channels for upper part of the catchment in Kyrgyzstan, and in the assessment of current glacial lake outburst hazard.

Keywords: debris flow hazard, glacial lakes, Shakhimardan catchment, Kyrgyzstan, Uzbekistan, mapping, remote sensing.

References

1. *Bululukov Yu.G.* Gory and lyudi [People and mountains]. – Tashkent: Mekhnat, 1986. – 159 p. (In Russian).
2. *Aitmatov I., Almanov S.* Nauka, gory i katastrofy [Science, mountains and catastrophes] // Slovo Kyrgystana. – 2012. – 4 December (In Russian).

3. *Chernomorets S.S.* Selevye ochagi do i posle katastrof [Debris flow origination sites before and after disasters] Moscow: Nauchny mir, 2005. – 184 p. (In Russian).
4. *Labutina I.A.* Deshifrirovaniye aerokosmicheskikh snimkov [Interpretation of aerial and satellite images]. – Moscow: ASPECT PRESS, 2004. – 184 p. (In Russian).
5. *Huffman G.J., Adler R.F., Bolvin D.T., Gu G., Nelkin E.J., Bowman K.P., Hong Y., Stocker E.F., Wolff D.B.* The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis: Quasi-Global, Multi-Year, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scale / J. Hydrometeor. – 2007. – No. 8. – P. 38–55.
6. *Mergili M., Schneider D., Worni R., Schneider J.F.* 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. Padua, Italy – 14–17 June 2011.
7. *Konovalov V.G.* 2009. Distantionny monitoring proryvoopasnykh ozer na Pamire [remote sensing monitoring of the outburst hazardous lakes in Pamir] // Kriosfera Zemli. – 2009. – No. (4). – P. 80–89.
8. *Chernomorets S.S., Savernyuk E.A., Dokukin M.D., Tutubalina O.V., Viskhadzhiyeva K.S.* Assessment of debris flow hazard of high-mountain lakes in Northern Afghanistan: methodology and results. Geomorphological resources and geomorphological safety: from theory to practice / Proceedings of the 7th All-Russian conference dedicated to the memory of I. Schukin. Moscow, MSU, 18–21 May 2015. – Moscow: MAKS Press, 2015. – P. 193–196 (in Russian).