

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ГЕОРИСКОВ В БАССЕЙНАХ ГОРНЫХ РЕК ТЯНЬ-ШАНЯ

Л. Э. Оролбаева, А. А. Мелешко

Synergistic effects during the formation of geohazards in the mountain river basins of the Tien Shan

L. E. Orolbaeva, A. A. Meleshko

The complex orography of Tien-Shan, geodynamically unstable environment determine the formation of such natural processes such as landslides, earthquakes, mudslides, floods and high waters. Dumps and tailings of mining and extractive industries, located in channels and floodplains of spleen and landslide-prone rivers significantly complicate the manifestation of dangerous natural processes and reduce the ecological situation. It determines the necessity of studying factors and conditions of formation of these processes, identifying patterns of their manifestations and interconnections, as well as the study of the nature of the triggers that lead to the emergence of synergies. The article describes the natural conditions and factors of formation of dangerous natural processes and phenomena of the Tien Shan, the characteristic of technogeneous factors. Authors analyzed and typed geohazards with a synergistic effect manifesting with the greatest frequency in the mountain river basins of the Tien Shan. The article describes the formation of different types of floods with the manifestation of the synergistic effect and the formation of a cascade of dangerous processes. Examples of the formation of hazardous processes are river basins of Ala-Archa and Mailu-Suu with typical for the majority of mountain river basins natural conditions, the activity of dangerous natural processes and the basin of river Mailu-Suu also has the imposition of anthropogenic factors: the presence of radioactive dumps and tailings. For river basin, Ala-Archa authors reviewed a manifestation of the synergistic effect and the formation of a cascade of dangerous processes under different trigger events. For Mailu-Suu river basin authors give projections of volume calculations dammed lake during the landslide, analyze the possible options for the development of dangerous processes. To justify the prediction of synergistic effects in the formation of geohazards in mountain river basins it is necessary to evaluate the existing relationship between hazardous natural and technological processes, determine the likely triggers, their nature, and trigger chance in time and space.

Keywords: mountain river basins; natural hazards; climate change; technogeneous factors; synergistic effects; prognosis; management of geohazards.

Сложная орография территории Тянь-Шаня и геодинамически неустойчивая среда определяют формирование таких природных процессов, как оползни, землетрясения, селевые потоки, наводнения и паводки. Отвалы и хвостохранилища предприятий горнодобывающей промышленности, размещенные в руслах и поймах селе- и оползнеопасных рек, существенно усложняют проявление опасных природных процессов и ухудшают экологическую ситуацию. Это определяет необходимость изучения факторов и условий формирования этих процессов, выявления закономерностей их проявления и взаимосвязи, а также изучения природы пусковых механизмов, приводящих к возникновению синергетических эффектов. В статье рассмотрены природные условия и факторы формирования опасных природных процессов и явлений Тянь-Шаня, дана характеристика техногенных факторов. Анализированы и типизированы геориски с синергетическим эффектом, проявляющиеся с наибольшей частотой в бассейнах горных рек Тянь-Шаня. Описано формирование селей различных типов с проявлением синергетического эффекта и формированием каскада опасных процессов. В качестве примеров формирования опасных процессов рассматриваются бассейны рек Ала-Арча и Майлуу-Суу с типичными для большинства бассейнов горных рек природными условиями, активностью опасных природных процессов, а бассейн р. Майлуу-Суу и наложением техногенных факторов – наличием радиоактивных отвалов и хвостохранилищ. Для бассейна р. Ала-Арча рассмотрено проявление синергетического эффекта и формирование каскада опасных процессов при различных пусковых событиях. Для бассейна р. Майлуу-Суу приведены прогнозные расчеты объема запрудного озера при сходе оползней, проанализированы возможные варианты развития опасных процессов. Для обоснования прогноза проявления синергетических эффектов при формировании георисков в бассейнах горных рек необходимо оценить существующую взаимосвязь между опасными природными и техногенными процессами, определить вероятные пусковые механизмы, их природу и вероятность срабатывания в пространстве и времени.

Ключевые слова: бассейны горных рек; опасные природные процессы; изменение климата; техногенные факторы; синергетические эффекты; прогноз; управление георисками.

На территории горных геосистем Тянь-Шаня, строение и развитие которых обусловлено длительной тектонической активностью, формируются многочисленные опасные природные процессы и явления. Сложная орография территории, геодинамически неустойчивая среда, принадлежность к зоне высокой сейсмичности, континентальный климат – всё это приводит к распространению и частому проявлению таких природных процессов, как оползни, землетрясения, селевые потоки, наводнения и паводки. Техногенные факторы существенно усложняют формирование георисков и экологическую ситуацию. Отвалы и хвостохранилища, размещенные в руслах и поймах селе- и оползнеопасных рек, законсервированных и не действующих ныне предприятий горнодобывающей промышленности, являются источниками формирования техногенных георисков, имеющих трансграничный характер, представляя угрозу загрязнения поверхностных и подземных вод, источников питьевого водоснабжения тяжелыми металлами и радионуклидами. Тенденция потепления климата, проявляю-

щаяся в регионе повышением среднегодовой температуры и количества осадков [1–3], приводит к устойчивому интенсивному процессу сокращения поверхности ледников и увеличению водности горных рек, что в свою очередь будет способствовать развитию паводков, селей и оползней. Климатические изменения и связанные с ними природные процессы могут привести в недалеком будущем к усугублению экологических последствий. Опасные природные процессы в горных странах часто взаимосвязаны и являются синергетическими, когда одно природное явление способно провоцировать другое, а возможно и целый ряд каскадных процессов, оказывая тем самым мультипликативный негативный эффект на экосистемы, социум и экономику [4–9]. В связи с ростом техногенной нагрузки на окружающую среду опасность возникновения неблагоприятных природных процессов возрастает. Наложение природных опасностей на техногенные приводит к возрастанию экологического, экономического ущерба и социального риска в пространственном и временном масштабах. Это определяет необходимость изучения факторов и условий формирования этих процессов, выявления закономерностей их проявления и взаимосвязи, а также изучения природы пусковых механизмов, приводящих к возникновению каскадных эффектов. Исследованию, картированию, прогнозу опасных природных процессов в горных странах посвящены работы ряда авторов [7–11], которые отмечают возросшую интенсивность опасных природных процессов в последние десятилетия. Изучение опасности возникновения таких процессов является особенно актуальным для территорий речных долин Тянь-Шаня, где сосредоточены крупные населенные пункты Кыргызстана. По данным многолетних наблюдений МЧС, сели и паводки ввиду исключительной распространённости, повторяемости и наносимого суммарного ущерба находятся на первом месте среди опасных природных явлений Кыргызстана (рис. 1).

Наиболее опасными по своему разрушительному воздействию являются гляциальные сели, связанные с прорывами ледниковых озер во внутриледниковых полостях, прорывами плотин моренных озер. Зона формирования гляциальных селей охватывает все территории современного оледенения Тянь-Шаня и Памиро-Алая в высотном интервале от 3000 до 4000 м над уровнем моря. В среднегорье, не имеющем современного оледенения, в пределах высот от 2600 до 3500 м формируются смешанные (снего-дождевые) сели, связанные с интенсивным снеготаянием и дождями. Зона формирования ливневых селей занимает значительные территории предгорий, адыров и невысоких гор (2000–2500 м). Здесь формируются селевые потоки от незначительных до мощных с расходами до нескольких сотен кубических метров в секунду. Зоны формирования ливневых паводков приурочены к низкогорью и предгорью в интервале высот от 1200 до 2000 м над уровнем моря. В Кыргызстане 95 % всех населенных пунктов подвержены воздействию селей и паводков, поскольку они в большинстве своем расположены в долинах или на конусах выноса рек или временных водотоков.

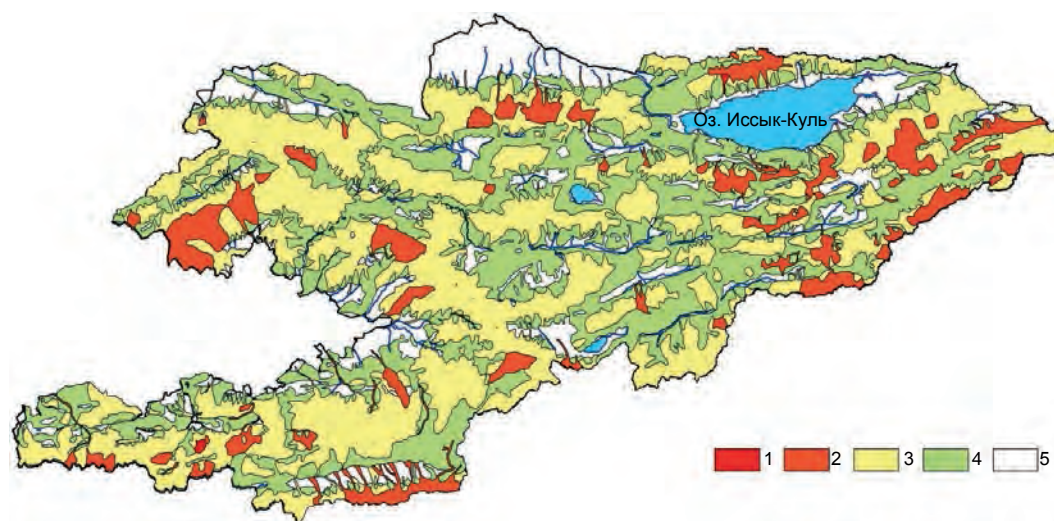


Рисунок 1. Карта-схема прогноза селевой опасности на территории Кыргызстана [12]. 1 – территории I степени селевой опасности с возможным проявлением катастрофических селей и паводков; 2 – территории II степени селевой опасности с возможным проявлением селей от 100 до 1000 м³/с; 3 – территории III степени селевой опасности с возможным проявлением селей от 10 до 100 м³/с; 4 – территории IV степени селевой опасности с возможным проявлением селей до 10 м³/с; 5 – селевые процессы и явления отсутствуют / Figure 1. A schematic map of mudflow danger forecast in territory of Kyrgyzstan.

Типичным примером формирования опасных процессов и проявления синергетических эффектов являются бассейны рек Ала-Арча и Майлуу-Суу. Выбор бассейна р. Ала-Арча в качестве объекта исследования обусловлен типичностью для большинства бассейнов горных рек, активностью опасных природных процессов, а в бассейне р. Майлуу-Суу – и наложением техногенных факторов: наличием отвалов и хвостохранилищ законсервированных предприятий горнодобывающей промышленности. Бассейн р. Ала-Арча с ее многочисленными притоками является одним из самых селеопасных на северном Тянь-Шане. Формирование катастрофических паводков и селей здесь определяется мощным оледенением, высокогорными прорывоопасными озерами, типично горным рельефом с глубокой расчлененностью и крутыми, часто отвесными склонами, большой высотой водоразделов и скоплением рыхлообломочного материала, питающего селевые потоки. Значения абсолютных высот составляют от 1500 до 4400 м над уровнем моря. Среднегодовое количество осадков по долининной части составляет 500–600 мм, в горной – до 1000 мм. Высота снежного покрова составляет по долинам 10–30 см, в горах 200 см. Река Ала-Арча берет свое начало с Большого Ала-Арчинского ледника, принимая с востока притоки Джинди-Суу, Топ-Карагай, Теке-Тор, Туяк-Суу, Ак-Сай, Кашка-Суу и с запада Адыгене. Впадает р. Ала-Арча в р. Чу, проходя через Бишкек и густонаселенную Чуйскую долину. Общая протяженность р. Ала-Арча 76 км, площадь бассейна – 270 км². Питание реки осуществляется преимущественно за счет ледников и высокогорных снегов, атмосферных осадков. Р. Ала-Арча и ее притоки являются типичными горными реками с высокими уклонами русел, высокими скоростями течения, неравномерным водным режимом. Так, при среднегодовом расходе воды р. Ала-Арча максимум 4,0–4,5 м³/с при выпадении ливневых осадков он может достигать 50 м³/с. В ее бассейне находится 16 высокогорных прорывоопасных озер, из которых к наиболее опасным отнесены Адыгене приледниковое (объемом 70 тыс. м³), Кашка-Суу (объемом 120 тыс. м³) и селевой очаг Ак-Сай (объемом 150 тыс. м³) [4]. Здесь формируются сели различных типов: гляциальные (р. Ак-Сай), дождевые ливневые (реки Кашка-Суу, Мурат-Сай, Карагай-Булак), сели, связанные с прорывом высокогорных озер (верховья рек Топ-Карагай,

Адыгене, Тез-Тёр, Кашка-Суу). Проявляются и сейсмогенные сели. При образовании селей различного генезиса, как правило, проявляются синергетический эффект и формирование каскада опасных процессов (рис. 2).

При этом чем выше область зарождения селя, тем мощнее и сложнее синергетика формирующихся процессов.

Например, катастрофический сель, прошедший 2 июня 1953 г. по р. Адыгене, образовался от прорыва моренного озера в верховьях реки. Его расходы в устье достигли 400 м³/с. Не менее опасны и более часты сели на р. Аксай (1960–1963, 1965, 1969–1971 гг.). Их причина – опорожнение внутриледниковых емкостей. В результате этих селей на конусе выноса р. Аксай было уничтожено около 50 га леса, были и человеческие жертвы [5].

Анализ современного климата Чуйской долины и северного склона Киргизского хребта [12, 13] за последние 80 лет свидетельствует о потеплении климата с существенным ростом осадков в долине (18 %) и на всём северном склоне Киргизского хребта (6 %). Очевидно, что при сохранении этой тенденции следует ожидать роста числа опасных процессов с синергетическим эффектом. В этих условиях управление георисками, прогнозирование опасных природных процессов, особенно с синергетическим эффектом, представляет значительную сложность. Например, даже при постоянном мониторинге прорывоопасных высокогорных озер можно достаточно достоверно определить время наполнения озера, однако определить дату и время его прорыва невозможно. Таким образом, при прогнозе георисков в таких условиях с данными гляциологического мониторинга, аэровизуальных наблюдений и гидрометеорологической информации необходимо использовать и данные по истории прорывов озер.

Формирование георисков с синергетическим эффектом имеет место и в бассейне р. Майлуу-Суу. Река и ее притоки имеют снежно-ледниковое питание. Максимальный расход р. Майлуу-Суу 108 м³/с. Среднегодовое количество осадков по долининной части составляет 500–600 мм, в горной до 1000 мм. Ежегодные в весенне-летний период (апреле, мае, июне) паводки отмечаются на р. Майлуу-Суу и ее притоках (Кугай, Карагач, Сары-Бия, Айлампа-Сай) и сопровождаются эрозией берегов с повреждением автодорог, автомобильных мостов, угрозой затопления объ-

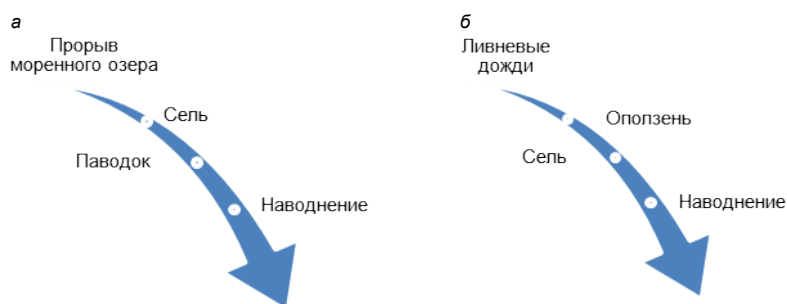


Рисунок 2. Опасные природные процессы с синергетическим эффектом в бассейне р. Ала-Арча при формировании «пусковых» процессов. а – в низкогорье; б – в высокогорье / Figure 2. Dangerous natural processes with a synergistic effect in the Ala-Archa river basin in the formation of «start-up» processes.

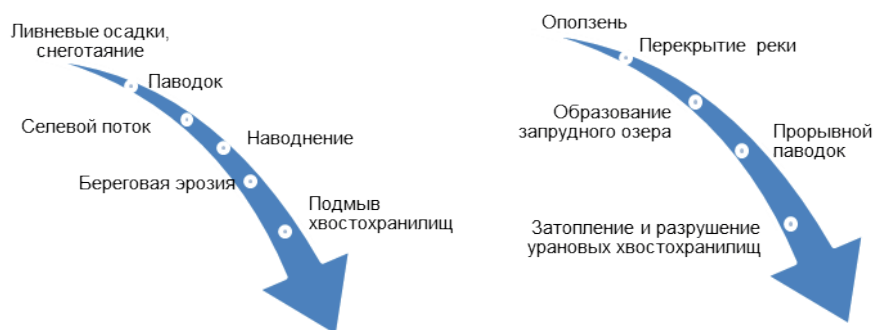


Рисунок 4. Возможные варианты развития опасных процессов с синергетическим эффектом в долине р. Майлуу-Суу / Figure 4. Possible options for the development of dangerous processes with a synergistic effect in the valley of Mailuu-Suu river.

Вероятные максимальные расходы р. Майлуу-Суу и объем образуемого озера при сходе оползней Тектоник и Кой-Таш.

При сходе оползня Тектоник			При сходе оползня Кой-Таш		
Высота дамбы, м	Объем образуемого озера, м ³	Максимальный расход реки, м ³ /с	Высота дамбы, м	Объем образуемого озера, м ³	Максимальный расход реки, м ³ /с
1	2500	26,3	1	1189	19,2
5	44 263	173	5	27 337	140,8
10	159 470	395	10	170 373	406,5
20	1 071 545	1177	20	1 147 747	1211,8
30	3 306 000	2240	30	3 573 860	2315

невой дамбой в местах расположения хвостохранилищ и образования запрудного озера. Объем образуемого озера определяет уровень возможного разрушения хвостохранилищ. Одним из вариантов прогноза развития синергетических процессов является расчет возможной высоты оползневой дамбы при сходе оползней Тектоник и Кой-Таш, объема озера и возможных максимальных расходов р. Майлуу-Суу при прорыве оползневой дамбы выполнялась аналогично расчету разрушений насыпных дамб. Ее результаты приведены в таблице.

Полученные данные могут быть использованы при прогнозе синергетических эффектов в долине р. Майлуу-Суу. Более точное определение максимального уровня воды в местах расположения хвостохранилищ и в городе Майлуу-Суу требует детальных расчетов, для которых прежде всего необходимо знать точную топографию региона, концентрацию отложений, средние скорости течения реки, продольный уклон, диаметр частиц наносов. Необходима детальная оценка профиля р. Майлуу-Суу для расчетов ожидаемых скоплений вынесенных рекой материалов. Для обоснования прогноза каскада взаимосвязанных опасных процессов в долине р. Майлуу-Суу необходимо оценить существующую взаимосвязь между опасными природными и техногенными процессами, определить вероятные пусковые механизмы, их природу и вероятность возникновения (срабатывания) таких механизмов в пространстве и времени.

Выводы

Опасные природные процессы в бассейнах горных рек часто взаимосвязаны и являются синергетическими, когда одно природное явление способно провоцировать ряд каскадных процессов.

При образовании селей различного генезиса, как правило, проявляются синергетический эффект и формирование каскада опасных процессов. При этом чем выше область зарождения селя, тем мощнее и сложнее синергетика формирующихся процессов.

Для обоснования прогноза синергетических эффектов опасных процессов необходимо оценить существующую взаимосвязь между потенциально опасными природными и техногенными процессами, определить вероятные пусковые механизмы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Второе Национальное сообщение Кыргызской Республики по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. Бишкек. 2008. 216 с.
2. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Бишкек: МЧС КР, 2014. 718 с.
3. Национальный доклад о состоянии окружающей среды Кыргызской Республики за 2011–2015 гг. Бишкек, 2016. 196 с.
4. Торгоев И. А., Алешин Ю. Г. Экология горнопромышленного комплекса Кыргызстана. Бишкек: Илим, 2009. 193 с.
5. Добровольский Н. С., Замай В. И., Баймуратов Б. Б. Разработка серверного программного обеспечения автоматизированной системы мониторинга параметров окружающей среды горных территорий // Проблемы автоматизации и управления. 2014. № 1. С. 39–46.

6. Оролбаева Л. Э. Геогидрология горных стран (на примере Тянь-Шаня и Памиро-Алая). Бишкек: Текник, 2013. 185 с.
7. Оролбаева Л. Э., Мелешко А. А. Геотехнические риски и проблемы мониторинга радиоактивного загрязнения водных ресурсов бассейна реки Майлуу-Суу // Изв. КГТУ. 2012. № 27. С. 240–243.
8. Kappes M., Keiler M., Glade T. From single- to multi-hazard risk analyses: a concept addressing emerging challenges // Proc. Int. Conf. on Mountain Risks: Bringing Science to Society, Firenze, Italy, 24–26 Nov. 2010. P. 351–356.
9. Schmidt J., Matcham I. et al. Quantitative multi-risk analysis for natural hazards: a framework for multi-risk modelling // Nat Hazard. 2011. Vol. 58. P. 1169–1192.
10. Corominas C., Van Westen, Frattini P. et al. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2014. Vol. 73. issue 2. P. 209–263.
11. Crosta G. B., Agliardi F., Frattini P., Sosoi R. (eds). Safe Land Deliverable 1.1: landslide triggering mechanisms in Europe – overview and state of the art. Identification of mechanisms and triggers. 2012. URL: <http://www.safeland-fp7.eu/>
12. Chandonnet A., Mamadalieva Z., Orolbaeva L., Sagynbekova L., Tursunaliyeva U., Umetbaeva D. Environment, climate change and migration In the Kyrgyz Republic. Бишкек: Триада Принт, 2016. 108 с.
13. Подрезов О. А. Современный климат Бишкека, Чуйской долины и Северного склона Киргизского хребта. Бишкек, 2013. 201 с.

REFERENCES

1. 2008, *Vtoroe Natsional'noe soobshchenie Kyrgyzskoy Respubliki po Ramochnoy Konventsii OON ob izmenenii klimata* [Second National Report of the Kyrgyz Republic on the UN Convention on Climate Change], Bishkek, 216 p.
2. 2014, *Monitoring, prognozirovanie opasnykh protsessov i yavleniy na territorii Kyrgyzskoy Respubliki* [Monitoring, forecasting of hazardous processes and phenomena on the territory of the Kyrgyz Republic], Bishkek, 718 p.
3. 2016, *Natsional'nyy doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy Kyrgyzskoy Respubliki za 2011–2015 gg.* [National Report on the State of the Environment of the Kyrgyz Republic for 2011–2015 years], Bishkek, 196 p.
4. Torgoev I. A., Aleshin Yu. G. 2009, *Ekologiya gornopromyshlennogo kompleksa Kyrgyzstana* [Ecology of mining complex in Kyrgyzstan], Bishkek, 193 p.
5. Dobrovolskiy N. S., Zamay V. I., Baymuratov B. B. 2014, *Razrabotka servernogo programmnoy obespecheniya avtomatizirovannoy sistemy monitoringa parametrov okruzhayushchey sredy gornykh territoriy* [Development of the server software of the automated system for monitoring environmental conditions of mountain areas]. *Problemy avtomatiki i upravleniya* [Automation and Control Problems], no. 1, pp. 39–46.
6. Orolbaeva L. E. 2013, *Geogidrologiya gornykh stran (na primere Tyan'-Shanya i Pamiro-Alaya)* [Geohydrology of mountainous countries (on example of the Tien-Shan and Pamir-Alai)], Bishkek, 185 p.
7. Orolbaeva L. E., Meleshko A. A. 2012, *Geotekhnicheskie riski i problemy monitoringa radioaktivnogo zagryazneniya vodnykh resursov basseyna reki Maylu-Suu* [Geotechnical risks and problems of monitoring of the contamination of water resources in the basin of Mailuu-Suu river]. *Izvestiya KGTU* [Proceedings of KSTU], no. 27, pp. 240–243.
8. Kappes M., Keiler M., Glade T. 2010, From single- to multi-hazard risk analyses: a concept addressing emerging challenges. In: Malet JP, Glade T, Casagli N (ed) Proc. Int. Conf. on Mountain Risks: Bringing Science to Society, Firenze, Italy, pp. 351–356.

9. Schmidt J., Matcham I. et al. 2011, Quantitative multi-risk analysis for natural hazards: a framework for multi-risk modelling. *Nat Hazard*, no. 58, pp. 1169–1192.
10. Corominas C., Van Westen, P. Frattini et al. 2014, Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 73, issue. 2, pp. 209–263.
11. Crosta GB., Agliardi F., Frattini P., Soso R. 2012, SafeLand Deliverable 1.1: landslide triggering mechanisms in Europe—overview and state of the art.

- Identification of mechanisms and triggers. Available at <http://www.safeland-fp7.eu/>
12. Chandonnet A., Mamadalieva Z., Orolbaeva L., Sagynbekova L., Tursunaliyev U., Umetbaeva D. 2016, Environment, climate change and migration In the Kyrgyz Republic. Bishkek, 108 p.
13. Podrezov O. A. 2013, *Sovremennyy klimat Bishkeka, Chuyskoy doliny i Severnogo sklona Kirgizskogo khrebt* [Modern climate of Bishkek, Chui Valley and northern slope of the Kyrgyz ridge], Bishkek, 201 p.

Лидия Эргешевна Оролбаева,

orolbaeval@mail.ru

Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова
Кыргызстан, Бишкек, пр. Чуй, 215

Lidiya Ergeshevna Orolbaeva,

orolbaeval@mail.ru

Kyrgyz State Technical University after named I. Razzakov
Bishkek, Kyrgyzstan

Анна Александровна Мелешко,

Российский университет дружбы народов
Россия, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

Anna Aleksandrovna Meleshko,

RUDN University,
Moscow, Russia