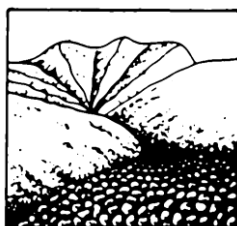


DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Proceedings
of the 5th International Conference

Tbilisi, Georgia, 1-5 October 2018



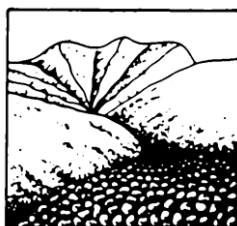
Editors
S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili

Publishing House “Universal”
Tbilisi 2018

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Труды
5-й Международной конференции

Тбилиси, Грузия, 1-5 октября 2018 г.



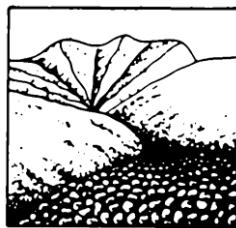
Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили

Издательство Универсал
Тбилиси 2018

ღვარცოფები: კატასტროფები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა

მე-5 საერთაშორისო კონფერენციის
მასალები

თბილისი, საქართველო, 1–5 ოქტომბერი, 2018



რედაქტორები
ს.ს. ჩერნომორეც, გ.ვ. გავარდაშვილი

გამომცემლობა "უნივერსალი"
თბილისი 2018

УДК 551.311.8
ББК 26.823

Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 5-й Международной конференции. Тбилиси, Грузия, 1-5 октября 2018 г. – Отв. ред. С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили. – Тбилиси: Универсал, 2018, 671 с.

Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 5th International Conference. Tbilisi, Georgia, 1-5 October 2018. – Ed. by S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili. – Tbilisi: Publishing House “Universal”, 2018, 671 p.

ღვარცოფები: კატასტროფები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა. მე-5 საერთაშორისო კონფერენციის მასალები. თბილისი, საქართველო, 1–5 ოქტომბერი, 2018. გამომცემლობა "უნივერსალი", თბილისი 2018, 671 გვ. პასუხისმგებელი რედაქტორები ს.ს. ჩერნომორეც, გ.ვ. გავარდაშვილი.

Ответственные редакторы С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили
Edited by S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili

Верстка: С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева, Е.А. Савернюк
Page-proofs: S.S. Chernomorets, K.S. Viskhadzhieva, E.A. Savernyuk

При создании логотипа конференции использован рисунок из книги С.М. Флейшмана «Селевые потоки» (Москва: Географгиз, 1951, с. 51).
Conference logo is based on a figure from S.M. Fleishman’s book on Debris Flows (Moscow: Geografiz, 1951, p. 51).

ISBN 978-9941-26-283-8

© Селевая ассоциация
© Институт водного хозяйства им. Ц. Мирцхулава
Грузинского технического университета

© Debris Flow Association
© Ts. Mirtskhulava Water Management Institute
of Georgian Technical University

© ღვარცოფების ასოციაცია
© საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა
მეურნეობის ინსტიტუტი



Принципы морфодинамического анализа и картографирования селевой опасности гор Южной Сибири

В.П. Ступин, Л.А. Пластинин, Б.Н. Олзоев

*Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск,
Россия, stupinigu@mail.ru*

Проанализированы региональные закономерности и особенности селевой опасности гор Южной Сибири. Рассмотрены составляющие и принципы системного картографирования селевой опасности как основы ее регионального мониторинга. Методологическая составляющая – концепция морфосистем и морфодинамического анализа земной поверхности, основанные на естественной делимости рельефа на всех масштабных уровнях. Информационная составляющая – система сбора и обработки оперативных данных дистанционного зондирования, картографических и описательных материалов. Технологическая составляющая – ГИС, позволяющая выполнять обработку исходной информации на разных масштабных и временных уровнях и решать специальные задачи по картографическому моделированию селевой опасности. Рассмотрены вопросы содержания комплекса карт селевой опасности на разных масштабных уровнях. Представлены образцы разномасштабных карт селевой опасности.

селевая опасность, геоинформационное картографирование селей

Principles of morphodynamic analysis and mapping of mudflow hazard of the mountains of southern Siberia

V.P. Stupin, L.A. Plastinin, B.N. Olzoev

Irkutsk State Technical University, Irkutsk, Russia, stupinigu@mail.ru

Analyzed regional patterns and characteristics of mudflow hazard mountains of southern Siberia. The components and principles of system mapping of mudflow hazard as a basis for its regional monitoring are considered. The methodological component is the concept of morphosystems and morphodynamic analysis of the earth's surface, based on the natural divisibility of the terrain at all scale levels. Information component - system of collecting and processing of operational data of remote sensing, cartographic and descriptive materials. The technological component is GIS, which allows processing of initial information at different scale and time levels and solving special problems of cartographic modeling of mudflow hazard. The questions of the content of the complex of maps of mudflow danger at different scale levels are considered. Samples of different-scale maps of mudflow hazard are presented.

mudflow hazard, GIS-mapping of mudflows

Введение

Цель картографо-космического мониторинга селевой опасности – контроль факторов, проявлений и динамики селевых процессов на основе картографических методов исследований с использованием материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с целью проведения оперативных мероприятий по предупреждению



чрезвычайных ситуаций, связанных со ходом селей или снижению наносимого ими ущерба.

Задачи мониторинга:

- ведение баз данных (карт, материалов ДЗЗ, цифровых моделей рельефа, данных натурных наблюдений);
- анализ факторов и условий схода селей;
- создание карт селевой опасности;
- оценка последствий селей;
- выработка рекомендаций для принятия управленческих решений;
- прогноз селей.

Объектом наших разработок стали принципы картографического моделирования селевой опасности гор Южной Сибири на основе геоинформационных технологий, которые многократно увеличивает возможности накопления, актуализации, обработки, передачи, тиражирования и управления информацией о селевых процессах.

Принципы ГИС-картографирования селей

Парадигма организации картографирования и мониторинга селей основывается на трех составляющих – методологической, информационной и технологической [Пластинин, Ступин, 2013; Пластинин и др., 2016; Ступин, 2017; Ступин, Пластинин, 2017; Ступин, Сыренов, 2016; Ступин и др., 2015, 2016, 2017].

Методологическая составляющая является теоретической основой ГИС-картографирования селевой опасности. В качестве таковой выступает концепция морфосистем и морфодинамического анализа земной поверхности, позволяющая выявить естественную делимость и динамическую иерархию рельефа и выполнить его картографирование на трех уровнях генерализации – морфоструктурном, бассейновом и склоновом [Ступин, 2009]. Региональное картографирование селеопасных морфосистем выполняется, в основном, на бассейновом уровне, так как именно бассейны организуют пространственную структуру селевой опасности, в них происходит накопление твердой составляющей будущих селей и распределение потоков талых и дождевых вод.

Информационная составляющая представляет собой систему сбора, систематизации и оперативного обновления баз специальных данных на основе оперативных материалов ДЗЗ, топографических и специальных карт, цифровых моделей рельефа, изыскательских и литературно справочных материалов. В ходе наших исследований использовались космические снимки, полученные фотографическими системами со спутников Ресурс-Ф, оптико-электронными сканерами со спутников Landsat и изображения с беспилотных летательных аппаратов. Эти данные позволили выявить и нанести на карты селеопасные бассейны, склоны и русла, а также определить качественные и количественные характеристики селей. Для эффективного использования материалов ДЗЗ применительно к специфике региона были уточнены традиционные методики дешифрирования снимков.

Технологическая составляющая – специализированная ГИС, позволяющая выполнять обработку исходной информации на разных масштабных и временных уровнях и решать специальные задачи, связанные, например, с построением изолиний, вычислением производных характеристик поверхностей и гидрологических расчетов, построением дренажных сетей, моделированием их динамики и др.

Сели региона

Под селевой опасностью понимают угрозу жизни людей и материальным ценностям вследствие схода селя. Она складывается из двух факторов – степени селевой активности и степени освоенности территории. В неосвоенных районах можно говорить лишь о потенциальной селевой опасности, степень которой определяется степенью селевой активности. Слабая заселенность обширных пространств гор Южной Сибири является причиной того, что большая ее часть долго оставалась в тени с точки зрения



селевой опасности, несмотря на многочисленные следы проявления селевой активности на этой территории за несколько сотен последних лет (селевые шлейфы, боковые валы и конуса выноса, повреждения на стволах уцелевших деревьев) [Рогозин, 1993; Лапердин и др, 2010; Макаров, 2012].

Повторяемость селей по дендрохронологическим данным составляет 4-8 лет для мелких селей и 16-30 лет для крупных, то есть, для крупных селей характерна редкая, а для мелких – средняя повторяемость [Лапердин, Тржцинский, 1977]. В то же время, последняя вспышка активности крупных катастрофических селей имела место в 1971 г., что является неблагоприятным признаком, так как чем дольше перерыв между сходом селей, тем они мощнее и опаснее.

Региональными особенностями селевой активности региона являются:

- климатические особенности;
- наличие многолетней мерзлоты;
- сейсмичность территории;
- сильная залесенность;
- особенности грунта.

Сели гор Южной Сибири относятся к зонально-дождевому классу, для которого характерен повсеместный характер распространения, систематический сход селей и постоянство путей их схода. Большое для Сибири количество осадков (1200-2000 мм/год) обеспечивает формирование достаточной жидкой составляющей селей. Массовый сход селей чаще всего вызывается затяжными дождями, особенно завершающимися ливнями, когда общая сумма осадков составляет 200 мм и более.

Большая часть территории региона находится в зоне многолетней мерзлоты. В настоящее время наблюдается тенденция к ее деградации, что проявляется в увеличении мощности деятельного слоя и в усилении его переувлажнения талыми водами, что способствует активизации селей в гольцах во вторую половину лета.

Рассматриваемый регион входит в Байкальскую рифтовую зону с интенсивностью землетрясений до 7-11 баллов. Сейсмические толчки зачастую служат спусковым механизмом схода сейсмогенных селей.

Со времени последней вспышки селевой активности в регионе старые селевые прочесы, а также поймы и острова заросли лесом. Очевидно, что твердая фаза селей при новой активизации будет древесно-грязекаменной с содержанием кустарниково-древесных остатков до половины от общего объема селевой массы, что вызовет формирование древесных завалов и запруд на реках с валообразным прорывом воды.

Сильно выветрелые раннепротерозойские породы хребтов и мощные рыхлые отложения котловин являются поставщиком твердых компонент селя, а горный рельеф способствует его накоплению в водосборных бассейнах в течение 4-5 лет.

Наиболее селеопасны горно-таежные и предгорные территории. Селевые потоки преимущественно водокаменные в западной части региона и грязекаменные – в восточной, где в предгорьях развиты глинистые отложения неогена. [Лапердин, Тржцинский, 1977].

В пределах бассейнов 2-го порядка (менее 200 км²) и, особенно, в пределах бассейнов 1-го порядка (менее 100 км²) концентрируются склоновые сели, которые по объему выносов обломочного материала следует относить к мелким (менее 10 тыс. м³).

Средний вынос обломочных масс долинных селей составляет 300-500 тысяч м³ (крупные сели). Случаются и очень крупные сели. Так, при массовом сходе селей на южном берегу Байкала в 1962 и 1971 гг. в озеро было вынесено, соответственно, 3 и 8 млн. м³ наносов. В результате схода серии селей 28.06.2014 года в районе села Аршан объем крупноглыбовой части селевого потока, достигшего поселка, составил 770 тыс. м³, а объем его глинисто-песчаного шлейфа более 1,5 млн. м³ [Лапердин и др, 2014, 2016].

Обжитые территории приурочены к предгорьям, где располагаются конусы выноса долинных селей. Особенно селеопасными являются прибрежные территории озера Байкал от реки Култучная до реки Хара-Мурин. Источником селевой опасности являются бассейны водотоков северного макросклона хребта Хамар-Дабан. В зону риска попадают Транссибирская железная дорога, ЛЭП, федеральная автодорога Р-258

"Байкал" с мостовыми переходами через многочисленные горные речки, на конусах выноса которых расположены сельскохозяйственные земли, населенные пункты и промышленные объекты, самыми опасным из которых являются отстойники производственных отходов Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК).

Полученные результаты

К основным картографируемым характеристикам селевой опасности относятся генезис, густота селевых русел, объем выносов, повторяемость, активность. Система отображения этих характеристик на всей серии карт обеспечивает преемственность масштабов картографирования и возможность сведения и сопоставления карт. Предусматривается создание традиционных [Перов, 1996] уровней системы селевых карт, составляемых с использованием ГИС.

1. Детальные (м-б 1:10 000 и крупнее) инженерно-проектные карты и схемы на отдельные действующие и потенциальные селевые бассейны. Предназначены для организации мер защиты и селевых стационаров

2. Крупномасштабные (м-б 1:25 000-1:50 000) проектные карты и схемы на селевые районы. Составляются при планировании мер защиты и мониторинга селей. Основа содержания – морфология селевых бассейнов и потоков.

3. Среднемасштабные (м-б 1:200 000-1:500 000) оценочные карты и схемы на отдельные регионы. Отображают типологию селевых бассейнов и являются основой кадастров и баз данных селевой опасности.

4. Мелкомасштабные (м-б 1:1 000 000 и мельче) – это обзорные научно-справочные карты и схемы государств, материков и мира. Отображают господствующие генетические типы селей и степень селевой активности.

На рис. 1 представлена детальная карта элементарного селевого бассейна, в котором зародился самый крупный селевой поток из серии аршанских селей 28.06.2014.

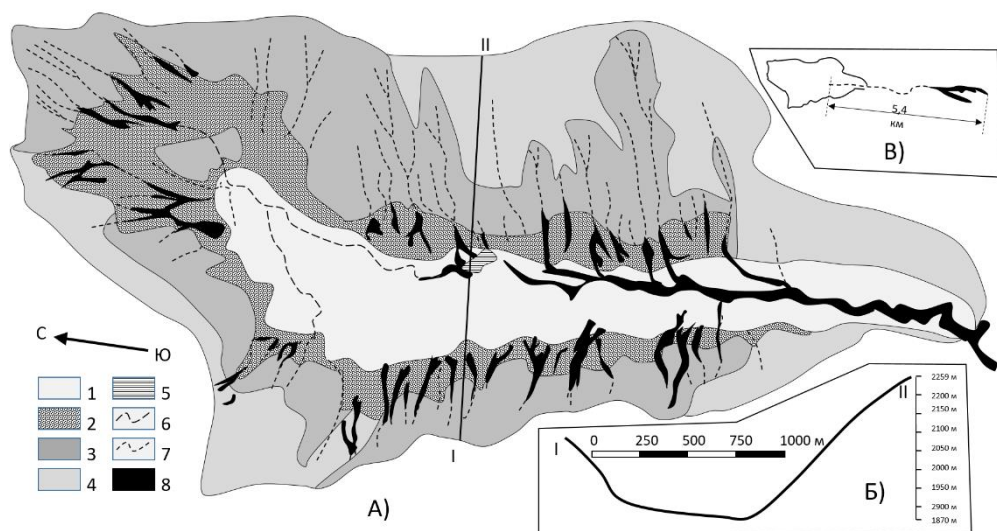


Рис. 1. А) Элементарный селеопасный бассейн: 1 – днище реликтового кара, покрытое донной мореной, 2 – подгорные шлейфы, 3 – скальные гравитационные склоны, 4 – денудационные склоны, покрытые чехлом рыхлых отложений, 5 – озера, 6 – русла временных водотоков, 7 – эрозионные борозды, 8 – свежие склоновые сели. Б) Поперечный профиль по линии I-II. В) Тот же бассейн, русло и конус выноса селя.

На крупномасштабной карте серии аршанских селей показаны структурные линии, бассейновые и склоновые системы (с их генетико-динамическими характеристиками), селевые русла, конуса выноса водо-каменных и шлейфы грязевых отложений (рис. 2). Крайний справа сел зародился в элементарном бассейне, представленном на рис. 1.

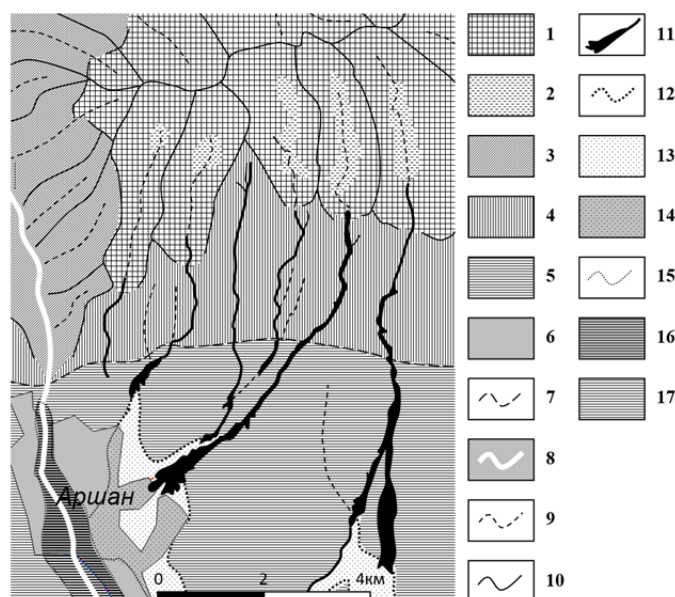


Рис. 2. Серия аршанских селей. 1 – скальные склоны каров и трогов с развитием осыпей, обвалов и линейной эрозии; 2 – поверхности морен с процессами крипа и солифлюкция; 3 – склоны с чехлом глыбово-щебнистых отложений и развитием линейной эрозии и крипа; 4 – склоны фасет Тункинского сброса, с чехлом глыбово-щебнистых отложений и развитием линейной эрозии, крипа, оползней и осыпей; 5 – склоны подгорного шлейфа, сложенные глыбово-щебнистыми отложениями с развитием пролювиальной аккумуляции и крипа; 6 – п. Аршан; 7 – линия Тункинского сброса; 8 – русло р. Кынгарга; 9 – тальвеги временных водотоков; 10 – границы водосборных бассейнов; 11 – селевые русла и конуса выноса; 12 – границы селевых грязевых отложений; 13 – шлейф селевых грязевых отложений; 14 – то же в п. Аршан; 15 – границы паводка на р. Кынгарга; 16 – подтопленные территории п. Аршан; 17 – то же вне поселка.

Особого внимания заслуживает селевая опасность, исходящая из бассейнов небольших рек Большая и Малая Осиновка, впадающих в оз. Байкал восточнее г. Байкальска и несущие угрозу разрушения отстойников и выноса ядовитых отходов в озеро. Крупномасштабная карта рассматриваемой территории приведена на рис. 3.

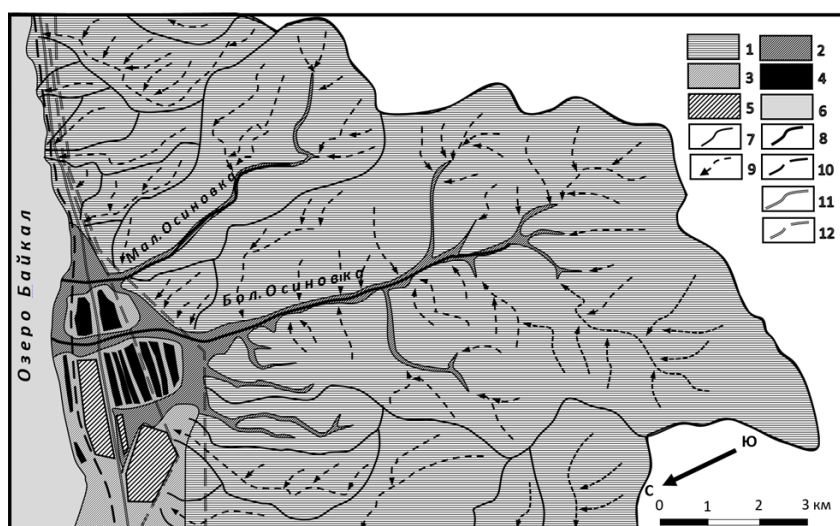


Рис. 3. Карта селевой опасности зоны окрестностей БЦБК. 1 – денудационные горно-таежные склоны хр. Хамар-Дабан, 2 – низкие поймы, зона высокой селеопасности, 3 – первая терраса, зона умеренной селеопасности, 4 – отстойники, 5 – селитебные территории, 6 – акватория оз. Байкал, 7 – границы бассейнов, 8 – селеопасные русла постоянных водотоков, 9 – селеопасные русла временных водотоков, 10 – транссибирская железная дорога, 11 – федеральная автодорога, 12 – ЛЭП.



Среднемасштабное картографирование реализовано на территорию части южного макросклона хр. Тункинские Гольцы, расположенного между главным водоразделом одноименного хребта и его подошвой, на которую открываются выходы (талвеги) его бассейновых подсистем и опираются базальные фасы Тункинского сброса. Порядок водотоков, образующих эти бассейновые системы, варьирует в пределах I-IV, однако на составленной карте показаны только водоразделы и талвеги тех бассейнов, которые непосредственно опираются на подошву хребта, без отображения осложняющих их дочерних бассейнов. Кроме того, на карту нанесены сели исторического (100-150 лет) времени, выявленные по снимкам по светлым полосам селевых прочесов (рис. 4).

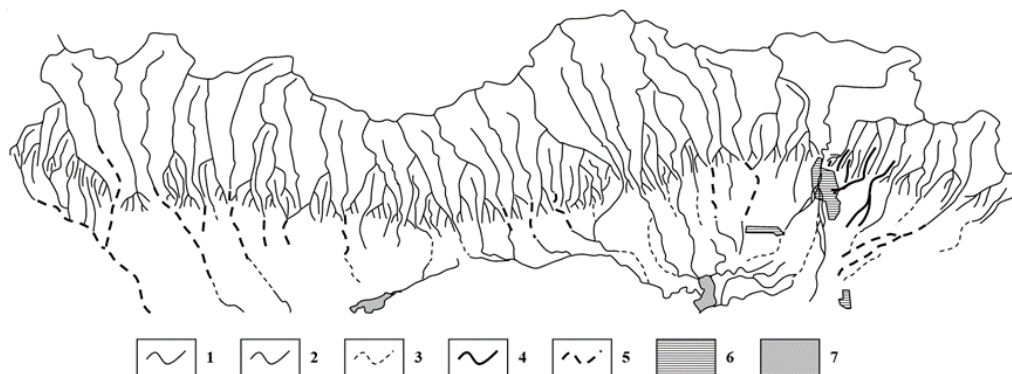


Рис. 4. Селевая пораженность части южного макросклона хр. Тункинские Гольцы: 1 – границы водосборных бассейнов; 2 – талвеги постоянных водотоков; 3 – талвеги временных и исчезающих (подповерхностных) водотоков; 4 – серия селей 28.06.2014; 5 – сели исторического времени; 6 – селитебные территории; 7 – озера.

Другим примером среднемасштабного картографирования селевой опасности служит карта селевых проявлений Южного Байкала, на которой отображены бассейновые в пределах северного макросклона хр. Хамар-Дабан. На карте показаны только бассейны, опирающиеся на урез Байкала. Также на карту нанесены селевые очаги, селевые русла, селевые шлейфы и конуса выноса, местоположение которых выявлено по материалам ДЗЗ и полевым данным. Кроме того, на карте показаны талвеги водотоков, опирающихся на урез Байкала, населенные пункты, федеральная трасса Р-258 и Транссибирская железнодорожная магистраль.

На карте отражено районирование селевой опасности по трем степеням: сильной, средней и слабой. Наиболее опасные участки приурочены к малым бассейнам хребта, умеренно пораженные – к средним, а слабо пораженные – к крупным. Слабая пораженность селями характерна для Култукско-Быстринской междувпадинной перемычки, где энергия рельефа невелика (рис. 5).

Заключение

Рассмотренная открытая система картографирования селевой опасности создается как основа для мониторинга селевой опасности и создания электронного регионального селевого кадастра, содержащего все систематизированные сведения о селевых бассейнах, и прошедших селях, в целях дальнейших научных исследований, моделирования и прогноза селей, разработке мер защиты населения, оперативной оценки схода селей и принятия управленческих решений.

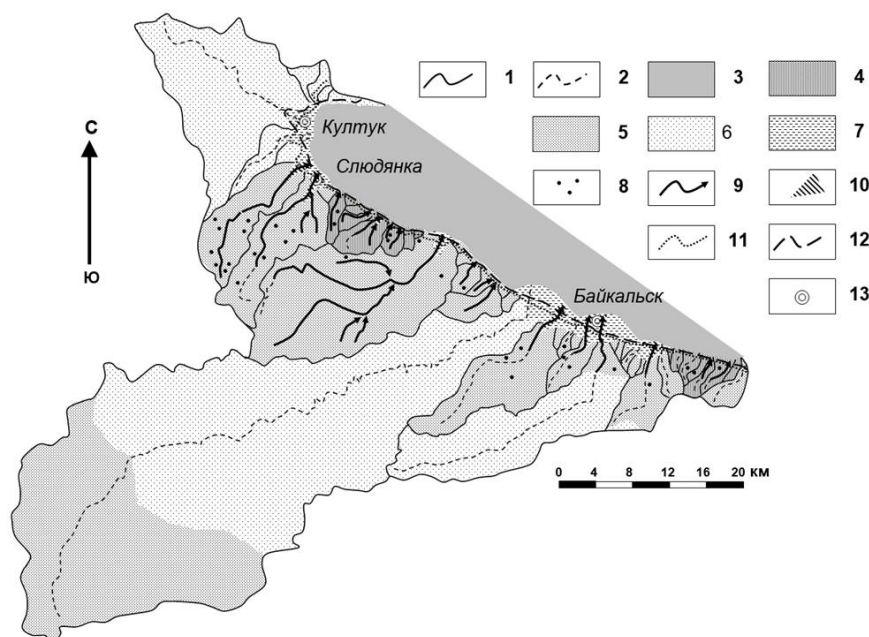


Рис. 5. – Селевая опасность Южного Прибайкалья. 1 – границы бассейнов 2 – тальвеги, опирающиеся на урез Байкала; 3 – акватория Байкала; Пораженность селями: 4 – сильная; 5 – средняя; 6 – слабая; 7 – зона селевой аккумуляции; 8 – селевые очаги; 9 – селевые русла; 10 – селевые шлейфы; 11 – автодорога; 12 – железная дорога; 13 – населенные пункты.

Список литературы

- Лапердин В.К., Тржцинский Ю.Б. (1977). Экзогенные геологические процессы и сели Восточного Саяна. Новосибирск: Наука, 103 с.
- Лапердин В.К., Имаев В.С., Верховзин И.И., Качура Р.А., Имаева Л.П. (2011). Опасные геологические процессы на юге Якутии и сопредельных территориях. Иркутск, Институт земной коры СО РАН, 240 с.
- Лапердин В.К., Качура Р.А. (2010). Геодинамика опасных процессов в зонах природно-техногенных комплексов Восточной Сибири. Иркутск, Институт земной коры СО РАН, 312 с.
- Лапердин В.К., Леви К.Г., Лехатинов А.М., Кадетова А.В., Пеллинен В.А., Рыбченко А.А. (2014). Причины и последствия катастрофических селевых потоков 28 июня 2014 г. в окрестностях пос. Аршан, Республика Бурятия. *Geodynamics & Tectonophysics*, 5(3): 799-816.
- Лапердин В.К., Леви К.Г., Имаев В.С., Молочный В.Г. (2016). Опасные геологические процессы Юго-Западном Прибайкалье. Иркутск, Институт земной коры СО РАН, 206 с.
- Макаров С.А. (2012). Сели Прибайкалья. Иркутск, Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 111 с.
- Перов В.Ф. (1996). Селевые явления: Терминологический словарь. М., Изд-во Московского ун-та, 46 с.
- Пластинин Л.А., Ступин В.П. (2013). Морфосистемное картографирование экзогенных геологических процессов Байкальской горной страны. *Геодезия и картография*, 10: 17–21.
- Пластинин Л.А., Ступин В.П., Олзоев Б.Н., Сыренов Д.Г. (2016). Дистанционный мониторинг и картографирование селевой опасности Южного Прибайкалья. В кн.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Материалы IV Междунар. конференции. Иркутск, Институт земной коры СО РАН, 203-207.
- Рогозин А.А. (1993). Береговая зона Байкала и Хубсугула (морфология, динамика и история развития). Новосибирск, Наука, Сиб. отделение, 168 с.
- Ступин В.П. (2009). Картографирование морфосистем. Иркутск, Изд-во ИрГТУ, 160 с.
- Ступин В.П. (2017). Геоинформационное системное картографирование селевой опасности гор Южного Прибайкалья (Россия) и Прихубсугулья (Монголия). В кн.: Материалы 3-й межд. конф. «Специфика территориальных и природных условий социально-экономического развития страны». Улан-Батор, Монгольский гос. университет, II: 316-324.
- Ступин В.П., Пластинин Л.А. (2017). Концепция морфосистем как методологическая основа картографирования селевой опасности. В кн.: Интерэкспо Гео-Сибирь-2017 «Раннее



- предупреждение и управление в кризисных ситуациях в эпоху «больших данных». Новосибирск, СГУГиТ, 7: 43-48.
- Ступин В.П., Пластинин Л.А., Олзоев Б.Н. (2017). Новые принципы и приемы системного картографирования селевой опасности Южного Прибайкалья с использованием ГИС и ДЗЗ из космоса. В кн.: От карты прошлого – к карте будущего. Пермь, Пермский гос. нац. исслед. университет, 2: 184-195.
- Ступин В.П., Пластинин Л.А., Олзоев Б.Н., Котельникова Н.В. (2015). Геоинформационное картографирование селевых процессов Южного Прибайкалья. В кн.: Материалы 15 совещания географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 520-522.
- Ступин В.П., Сыренов Д.Г. (2016). Картографирование селевой опасности Южного Прибайкалья на основе концепции бассейновых морфосистем. В кн.: Интерэкспо Гео-Сибирь-2016 «Раннее предупреждение и управление в кризисных ситуациях в эпоху «больших данных». Новосибирск, СГУГиТ, 27-31.