

## **ДАННЫЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ СЕЛЕВОЙ ОПАСНОСТИ СТАНОВОГО УЧАСТКА БАМА**

*Владимир Павлович Ступин*

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, доктор технических наук, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (964)103-08-17, e-mail: Stupinigu@mail.ru

Проведен анализ материалов дистанционного зондирования открытого доступа (космических снимков и цифровых моделей рельефа) с точки зрения их использования для изучения и картографирования селевой опасности Байкальской горной страны. Описаны дешифровочные признаки селевых явлений, обоснованы возрастные пределы их дешифрирования. Приведены карты селевой опасности различных территорий исследуемого региона.

**Ключевые слова:** космические снимки, цифровые модели рельефа, картографирование, селевая опасность.

## **REMOTE SENSING DATA FOR MAPPING THE VILLAGE HAZARD OF THE BAMA MILL SITE**

*Vladimir P. Stupin*

Irkutsk State Technical University, 83, Lermontova St., Irkutsk, 664074, Russia, D.Sc., Professor, Department of Surveying and Geodesy, phone: (964)103-08-17, e-mail: stupinigu@mail.ru

The analysis of open access remote sensing materials (satellite images and digital elevation models) from the point of view of their use for the study and mapping of the debris flow hazard of the Baikal mountain country is carried out. Descriptive signs of mudflow phenomena are described, the age limits of their interpretation are substantiated. Maps of debris flow hazard of various territories of the studied region are given.

**Key words:** satellite images, digital terrain models, debris flow, hazard mapping.

### *Введение*

Освоение и социально-экономическое развитие Сибири требует основательных, всесторонних и надежных географических знаний о природных процессах и явлениях этого обширного и труднодоступного физико-географического региона. Особенно это касается динамичных, опасных и непредсказуемых процессов, одним из которых являются селевые потоки. В полной мере это относится к Байкальской горнотаежной стране и, особенно, к территориям ее нынешнего и перспективного освоения: Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожным магистралям и полосам их инфраструктуры, федеральной автомобильной дороге «Сибирь», линиям электропередач, нефтепроводам и т.п., где игнорирование реалий селевой обстановки может привести к катастрофическим последствиям.

Одним из основных методов получения географических знаний является картографирование, которое, в свою очередь, трудноосуществимо без широкого привлечения материалов и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Интеграция картографических и дистанционных методов в среде ГИС положена в основу картографо-космического мониторинга природных процессов и явлений, который является обязательным на региональном уровне [1].

Следовательно, что вышесказанное относится к картографированию пространственного распределения селей с последующей оценкой их опасности и рисков [2].

В то же время, реалиями сегодняшнего дня является постоянное сокращение финансирования научных разработок, что, вкупе с обширностью исследуемой территории и дороговизной коммерческих данных ДЗЗ высокого разрешения, а также программ по их обработке, создает существенные трудности при картографировании. Поэтому особую актуальность представляет изыскание некоммерческих материалов ДЗЗ, ЦМР и программного обеспечения, пригодных для картографирования селей.

В связи с изложенным выше, целью исследования стало изучение возможностей использования космических снимков свободного доступа, бесплатных ЦМР и специализированного программного обеспечения с открытым кодом для картографирования селевой опасности Байкальской горной страны, с их апробированием на районах социально-экономического освоения региона. Для достижения поставленной цели нужно было решить следующие задачи:

- выявить селевые явления на космических снимках;
- уточнить дешифровочные признаков селевых явления;
- выяснить приуроченность селей к элементам ландшафта;
- определить пораженность территории отобразившимися на снимках селями, особенно представляющими угрозу для людей, техники и сооружений.

### *Исходные материалы и программное обеспечение*

Справедливости ради, следует отметить, что наряду с изложенными выше проблемами и трудностями нынешнего этапа изучения и картографирования селевых процессов и явлений, в настоящее время мы имеем целый ряд новых информационных и технических возможностей, о которых совсем недавно можно было только мечтать. Это, прежде всего, наличие полного покрытия территории интереса разнотипными, разновременными и разномасштабными цифровыми материалами ДЗЗ, а также хорошего программного обеспечения по их обработке. При этом, значительная часть этих материалов распространяется абсолютно бесплатно, а программные средства имеют свободные коды доступа. Разумеется, с известной степенью потери качества выходных продуктов.

На различных этапах картографирования в разной степени используются следующие материалы ДЗЗ и программные комплексы (ПК).

1. Цифровые модели рельефа SRTM и ALOS. Источники: <http://dwtkns.com/srtm> и <http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>. Их можно обрабатывать

на коммерческом ПК ArcGIS или на бесплатном SAGAGIS в целях выделения водоразделов и оконтуривания селевых бассейнов, нанесения тальвегов селевых русел, а также для определения их морфометрических характеристик;

2. Сканерные снимки Landsat-7, Landsat-8, Resourcesat-1, 2 и Sentinel-2 и др.

Источники бесплатных онлайн-ресурсов:

– EarthExplorer от USGS <https://earthexplorer.usgs.gov/>;

– EO Browser и Sentinel Playground <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>;

– карта России: <https://satmaps/info>, <https://satmaps.ru/>;

– спутниковая карта России. Яндекс карты <https://yandex.ru/maps/>.

Указанные снимки обрабатываются на коммерческих ПК ENVI, ArcGIS или на бесплатном SAGAGIS с тем, чтобы выявить современные склоновые и долинные сели, выполнить их координатную привязку (используя файлы GeoTIFF), отработать каталоги дешифровочных признаков для разных спектральных каналов, панхроматических и синтезированных изображений.

3. Промежуточные материалы, полученные в результате обработки данных ДЗЗ. Используют для отработки метрического и семантического содержания среднемасштабных (1: 200 000 – 1: 500 000) карт селевой опасности в ПК «Панорама» или MapInfo на подложке в виде цифровой топографической карты.

### *Дешифрирование космических снимков*

Дешифрирование селевых явлений по материалам ДЗЗ – основной метод при их картографировании, позволяющий выявлять, позиционировать, оконтуривать и определять качественные и количественные характеристики селевого рельефа и отложений с учетом ландшафтной специфики территории.

Возможности и детальность дешифрирования определяются масштабом и пространственным разрешением космических снимков на местности. По снимкам выявляют селеопасные районы (по следам прошедших ранее селей), изучают природные условия и геологическое строение этих районов, определяют источники и направления поступления в селевые очаги твердой и жидкой составляющих селей. По завершении дешифрирования выполняется районирование и картографирование территории, рассчитывается степень пораженности селями и оцениваются возможные риски от их прохождения.

Фиксировать прохождение селевого потока и изучать его динамику с помощью методов ДЗЗ в режиме реального времени практически невозможно, поэтому необходимо использовать материалы повторных съемок.

При выявлении селеопасных районов по космическим снимкам главным источником информации о них являются следы прошедших ранее селей. Проще всего дешифрируются селевые накопления, заполняющие расширенные участки речных долин или образующие конусы выноса у подножия гор при выходе на предгорные равнины или межгорные котловины. Свежие селевые накопления, лишены растительности и отображаются на снимках почти белым светлым или даже белым тоном, древние, покрытые почвенным и растительным покровом, более темным. Древние селевые отложения часто частично размывы или расчленены эрозией. Для территории исследования характерны водокаменные,

глыбовые сели, которые дешифрируются по характерной зернистой текстуре, образованной освещенными с одной стороны глыбами и валунами (рис. 3Б).

В процессе дешифрирования удобно пользоваться таблицей дешифровочных признаков селевых явлений. Дешифровочные признаки подразделяются на прямые (форма, тень, размер, тон, цвет, интегральная и спектральная яркость, текстура, структура, рисунок) и косвенные (ландшафтно-индикационные). Для каждой морфодинамической зоны (зарождение, транзит, аккумуляция) селя характерен свой специфический набор дешифровочных признаков.

Для зоны зарождения характерны узкие V-образные врезы на выпуклых перегибах склонов; водосборы с характерным сходящимся рисунком белых, почти белых или светло-серых полос склоновых селевых рытвин и борозд. Для изображений русла в месте зарождения селя характерна резкая смена серого тона на светло-серый и почти белый на темном окружающем фоне. В качестве дополнительных дешифровочных признаков служат сплывы и оползни на склонах, прилегающих сверху к молодому селевому врезу (рис. 1).



Рис. 1. Зона зарождения селя (Аршан, 2014). Признаки – V-образный врез с четкими бровками, светлый тон на темном фоне, оползни-сплывы по бортам вреза

Для зоны транзита прямыми дешифровочными признаками являются характерные формы селевого рельефа – широкие русла, часто занимающие все дно долины, с резкими и четкими бровками бортов; выпуклые селевые гряды и уплощенные полосы селевых отложений, фрагменты селевых террас, прислоненных к бортам селевого вреза; чередование суженных и расширенных (четкообразная форма) участков с промежуточными полями аккумуляции; выбросы обломочного материала за пределы селевого русла в местах его резких поворотов. Тон изображения – почти белый и светло-серый, русло серое. Рисунок линейно вытянутый, фестончатый в местах заплесков и обрушений подмытых берегов вдоль бровки селевого вреза. В селевой массе иногда заметны вывороченные стволы деревьев. Старые селевые русла дешифрируются по светлому тону первичных кустарников, тополей, осин и берез среди темной растительности (рис. 2).

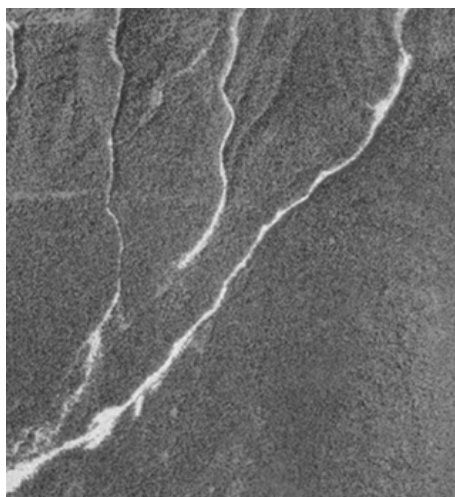


Рис. 2. Зона транзита (Аршан, 2014). Характерен резкий контраст белого тона селевого русла на темном фоне таежной растительности. Видна четкообразная форма русел и наличие «карманов» заплесков селевого материала

Зоне аккумуляции присуща характерная форма молодого конуса в виде веера или узкого сектора с рукавами (гусиная лапка). Тон очень светлый и светлый для недавно прошедших селей и серый для более старых. Рисунок поверхности конуса выноса струйчатый, образованный переплетением пересохших русел и островов селевых отложений. Также характерны одиночные отдельные крупные глыбы или их цепочки. Для разновозрастных конусов выноса характерны серии наложенных друг на друга контуров, отличающихся по тону – чем светлее, тем моложе (рис. 3).

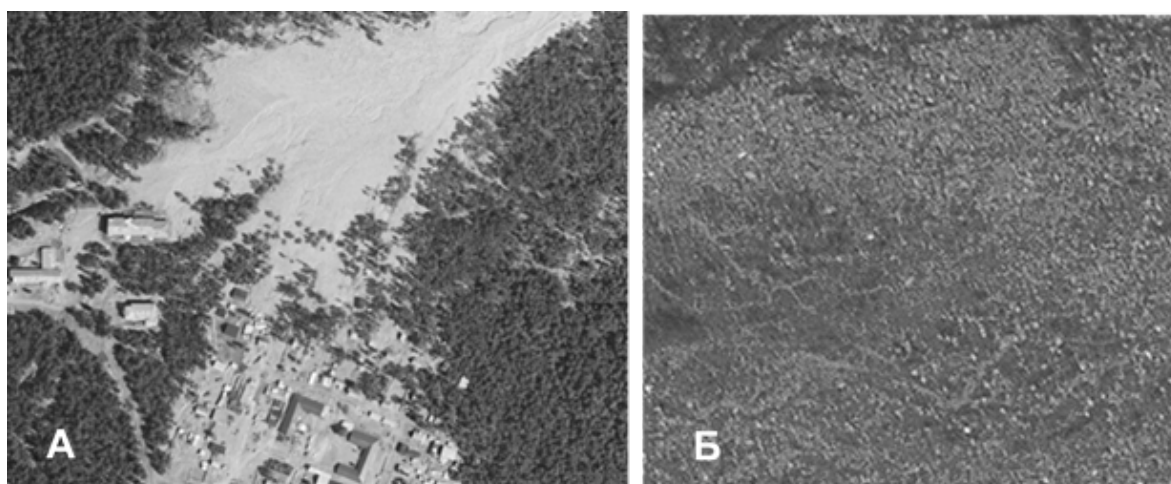


Рис. 3. Зона аккумуляции (Аршан, 2014). А – конус выноса в форме «гусиной лапки», сложенный валунным материалом (верхняя часть) и шлейф песчано-древянных отложений (нижняя часть). Б – зернистая структура и струйчатый рисунок поверхности валунных отложений конуса выноса

## *Возраст селей, дешифрируемых на космических снимках*

О возрасте селевых явлений, выявляемых на космических снимках, можно судить по степени сохранности их прямых и косвенных дешифровочных признаков, зависящей, прежде всего, от скорости зарастания форм и отложений селевого генезиса растительностью. Таким образом, тип и динамика растительных сукцессий являются важным и надежным индикатором при определении времени схода селей, что, собственно, и положено в основу фитоиндикационных методов датировок: фитоценологических, дендрохронологических и лишенометрических, из которых при использовании данных ДЗЗ хорошо применим первый из перечисленных [3].

В горно-таежном поясе, представленном светлохвойной тайгой, «затушевание» физиономических черт селевых явлений происходит за счет сукцессий фитоценозов порослевой, кустарниковой, жердевой и древесной первичной (осина) и вторичной (лиственница) растительности на их поверхности. Форма, тон, цвет и структура растительного покрова на снимках позволяют определить его сомкнутость, возрастной и породный состав и, тем самым, выявить положение, тип и возраст прошедших селевых потоков. Отсутствие растительности или наличие на конусах выноса кустарника, а также молодого (порослевого и жердевого) леса, указывает на сход селя не более 10–30 лет тому назад. В дальнейшем лиственница вступает в фазу быстрого роста (до 1 м/год) и формы селевого рельефа полностью зарастают.

В подгольцовом поясе основным видом растительности является кедровый стланик, который относится к медленнорастущим (около 0,15 м в год) растениям. Поэтому следы селей сохраняются на снимках в несколько раз дольше.

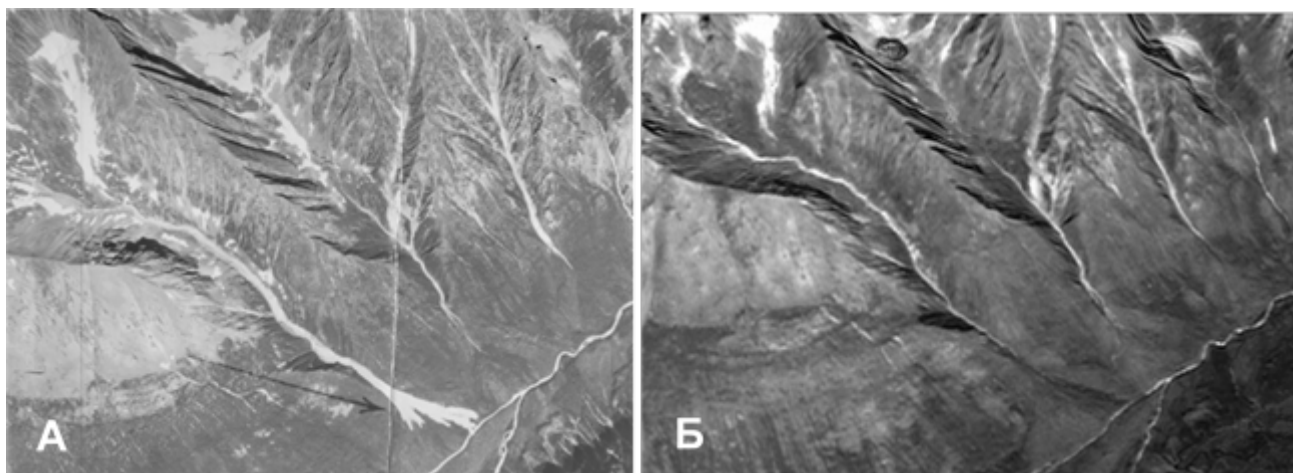


Рис. 4. Динамика зарастания конуса выноса селя 1969 года.  
А – аэрофотоснимок 1971 года, Б – космоснимок 2019 года

В гольцовом и нивальном поясах тон селевых отложений и форм рельефа определяет степень их выветривания, а также зарастания кедровым стлаником, мхом и лишайником. О скорости процесса зарастания можно судить на примере

конуса выноса селя, сошедшего в 1969 году с правого борта долины р. Сыгыкта напротив устья р. Ледниковая (хребет Кодар). На аэрофотоснимке 1971 года селевые отложения прекрасно дешифрируются по своей характерной форме («гусиная лапка») и белому тону (рис. 4А). В 1978 году, когда автор статьи выполнял теодолитную съемку этого конуса, он только начинал зарастать. На фрагменте снимка со спутника LandSat-8, полученного в 2019 году видно, что конус выноса полностью покрылся растительностью и слился с общим тоном подгорного пролювиального шлейфа (рис. 4Б). Другим примером зарастания селевых врез, террас, гряд и конусов выноса является северный макросклон хребта Хамар-Дабан. После 1971 года, когда по многим речкам, впадающим в Байкал, произошел массовый сход селевых потоков, формы и отложения селевого генезиса настолько заросли пойменной древесно-кустарниковой растительностью с преобладанием быстрорастущего (более 1 м/год) тополя душистого, что проявления этих селей невозможно обнаружить на современных снимках.

С другой стороны, внешний облик форм и отложений серии аршанских селей 2014 года (хр. Тункинские Гольцы) за прошедшие без малого шесть лет практически не изменился, и они все так же уверенно дешифрируются на космических снимках. Другой пример хорошей сохранности – серия селей 2001 года в районе озер Большое и Малое Леприндо (хр. Кодар), которые только начали зарастать.

Таким образом, в исследуемом регионе, по материалам ДЗЗ по прямым дешифровочным признакам можно уверенно распознавать селевые явления 20–25-летней давности. Выявление более ранних селей (в пределах 25–40 лет), а также выделение разновозрастных генераций одного и того же селевого бассейна (например, конуса выноса селевых отложений на реках). Анамакит и Анамакиткан (Верхнеангарский хребет), требует подключения ландшафтных признаков. Для идентификации еще более ранних селей (до 100–200 лет) необходимо привлекать полевые дендрохронологические и лихенометрические методы [4].

### ***Селевая опасность территории по данным дистанционного зондирования***

Приведенный ниже обзор селевой опасности региона основан на срезе данных, полученных с помощью материалов дистанционного зондирования из космоса, то есть на селевых явлениях, произошедших за последние несколько десятков лет. Это относится, например, к уже рассмотренной выше ситуации на территории заведомо селеопасного южного Прибайкалья [5], где, при высокой потенциальной угрозе схода селей с северного макросклона хребта Хамар-Дабан, на космических снимках не наблюдается следов современных селевых потоков. Тем не менее, даже короткий временной срез в 20–30 лет может быть полезен при оценке селевой опасности и рисков региона.

#### *Становой участок Байкало-Амурской магистрали*

*Байкальский хребет. Участок Даван-Нижнеангарск.* На этом участке проходит трасса железнодорожной магистрали и ее автодублера. Здесь расположен Байкальский тоннель длиной 6686 м, проложенный под перевалом Даван Байкальского хребта, а также четыре мысовых тоннеля с эстакадами и виадуками на

побережье Байкала между Северобайкальском и Нижнеангарском длиной 414, 1843, 1706 и 1344 м. Современных проявлений селевой активности на снимках не отмечается. В районе перевала Даван видны следы схода лавин, а на прижимном участке Байкала встречаются осыпные склоны.

*Верхнеангарская котловина.* На перегоне Ангоя-Анамакит (1181–1227 км) трасса БАМ близко подходит к южному участку Верхне-Ангарского хребта, который в гольцовой зоне носит ярко выраженный альпийский характер. Высоты в пределах участка достигают 2629 м. Склоны водоразделов круты, у их подножий формируются обширные каменистые осыпи. Гребни хребта возвышаются над дном долин на 1200–1300 м. Граница леса проходит на высоте 1000–200 м, а кедровый стланик поднимается до 1800 м. Практически все распадки водотоков, стекающих с крутого юго-восточного тектонического склона хребта, селеопасны. На космических снимках видны следы многочисленных свежих селей по руслам речек Огней, Подкаменный, Глыбовый, Анамакит, Ньюмиянда, Анамакиткан и др. Конуса выноса некоторых из них доходят до железнодорожного полотна и автодублера БАМ и представляют реальную угрозу путям и мостовым сооружениям, несмотря на селезащитные сооружения (рис. 5).

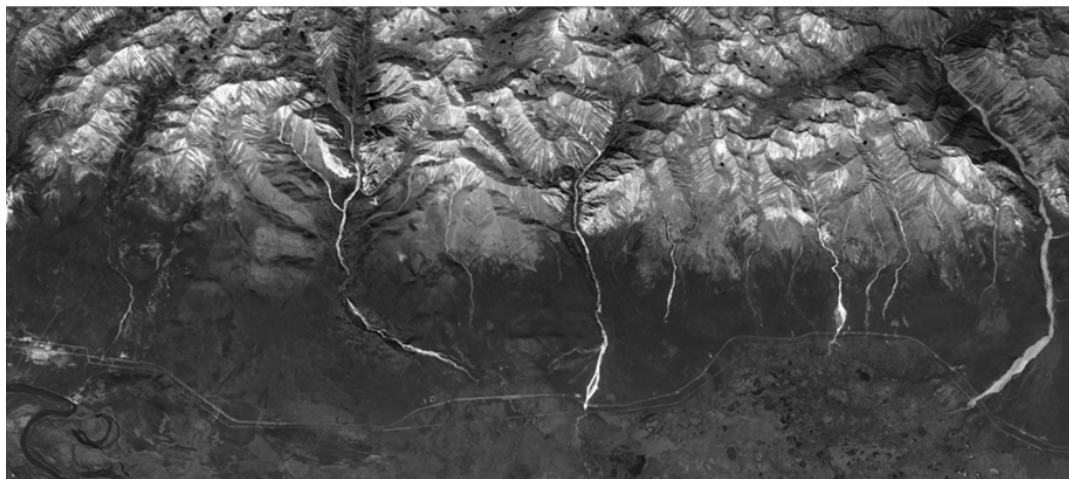


Рис. 5. Сели юго-восточного склона Верхне-Ангарского хребта. Landsat-8, 2019

На рис. 6 представлена карта селевой опасности описанного выше макросклона. Сплошной заливкой даны литодинамические пояса: денудационный, объединяющий альпийский, гольцовый и горнотаежный высотные уровни (1); сегмент аккумулятивных пологонаклонных подгорных шлейфов (2); сегмент аккумулятивных низких террас и плоских пойм (3). На карте также показаны: русло Нижней Ангары (4) и русла водотоков не несущих следы схода селевых потоков (5). Граница леса показана знаком (6). Стрелками выделены выявленные по снимкам свежие селевые русла с конусами выноса (7) и полузаросшие селевые русла более раннего возраста (8). Также на карте представлены водоразделы речных бассейнов (9) и трасса БАМ (10). Площади водосборов в кв. км показаны знаком (11).



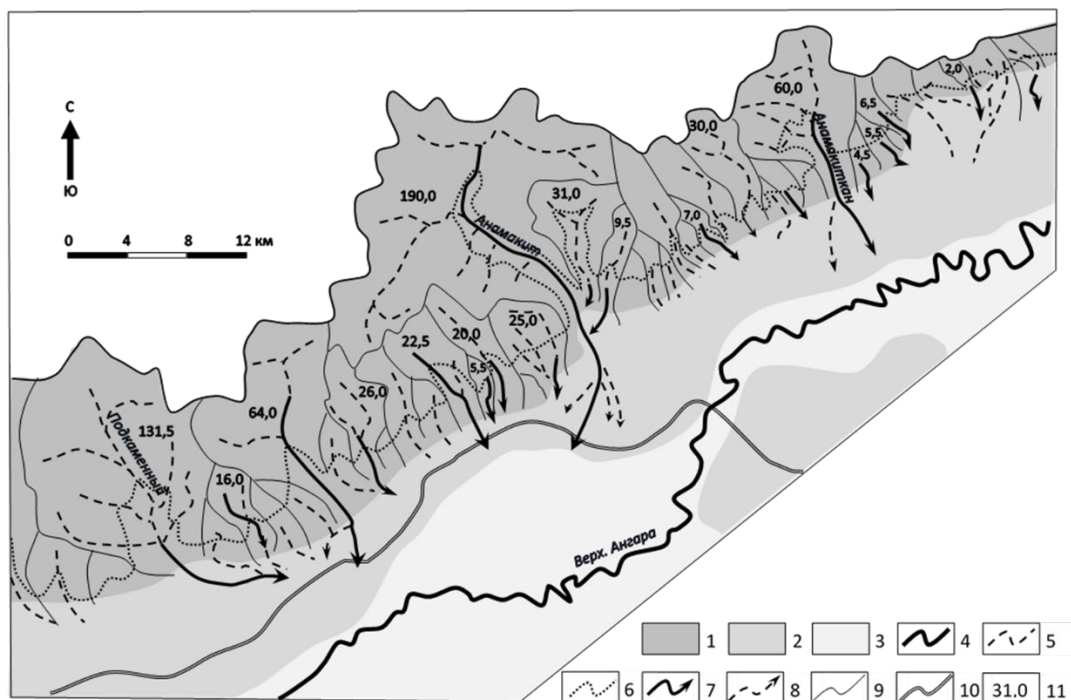


Рис. 6. Карта селевой опасности участка Северо-Ангарского хребта. Пораженность выявленными по снимкам селями составляет 55 %. Пояснения в тексте

*Северо-Муйская котловина.* В западной части котловины, от Северомуйска на восток отмечается серия селевых выбросов как с южного склона Северомуйского хребта, так и с северного склона Муяканского хребта, причем большая часть последних достигает трассы БАМ и ее автодублера и проходит под мостами. В средней части котловины железнодорожная трасса и параллельная ей автодорога проходят достаточно далеко от селеопасных макросклонов, но на правом берегу Витима приближаются к северному склону Южно-Муйского хребта со следами свежей селевой деятельности (рис. 7).

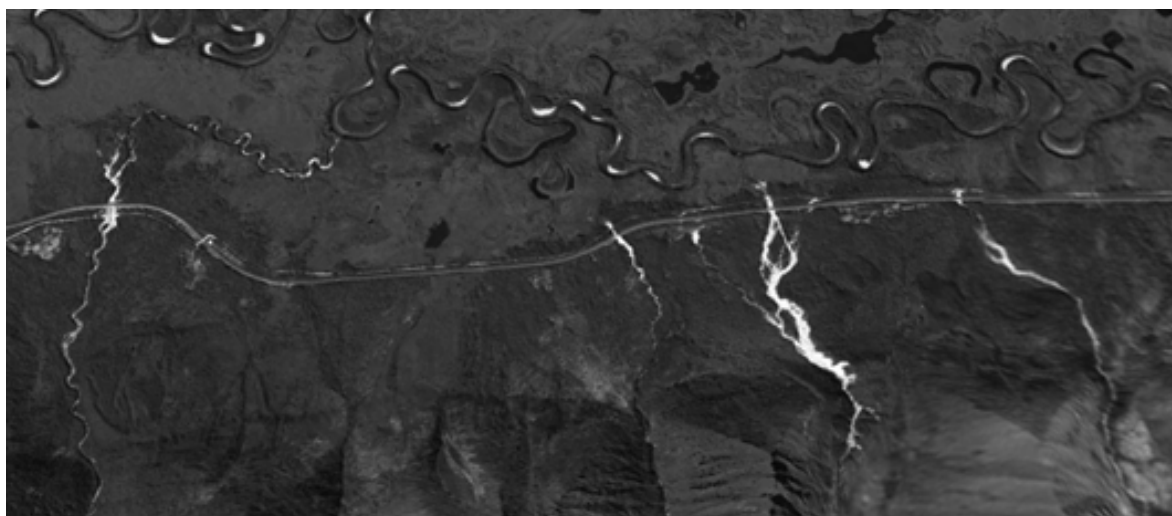


Рис. 7. Сели на северном склоне Южно-Муйского хребта. Landsat-8, 2019

В 3,5 км от Витима, дешифрируется свежее русло и конус выноса небольшого селевого потока, проходящего под железнодорожным и автомобильным мостами. В узкой долине Сюльбана на снимках заметны свежие селевые конуса выноса в устье р. Саку (правый борт долины Сюльбана) и в устье безымянного ручья напротив устья р. Балбухта (левый борт).

*Чарская котловина.* Потенциально селеопасные участки приурочены к короткому, но крутому южному макросклону хребта Кодар. На космических снимках со спутника GeoEye хорошо отобразились следы селевой деятельности в районе оз. Большое и Малое Леприндо. Здесь, с вплотную подходящего к БАМ крутого склона хребта Кодар 27 июля 2001 года произошел синхронный сход серии селевых потоков, состоящих из смеси воды и сорванного моренного материала, оставшегося от Сюльбанского ледника, частично повредивших полотно железной дороги (рис. 8) [6].

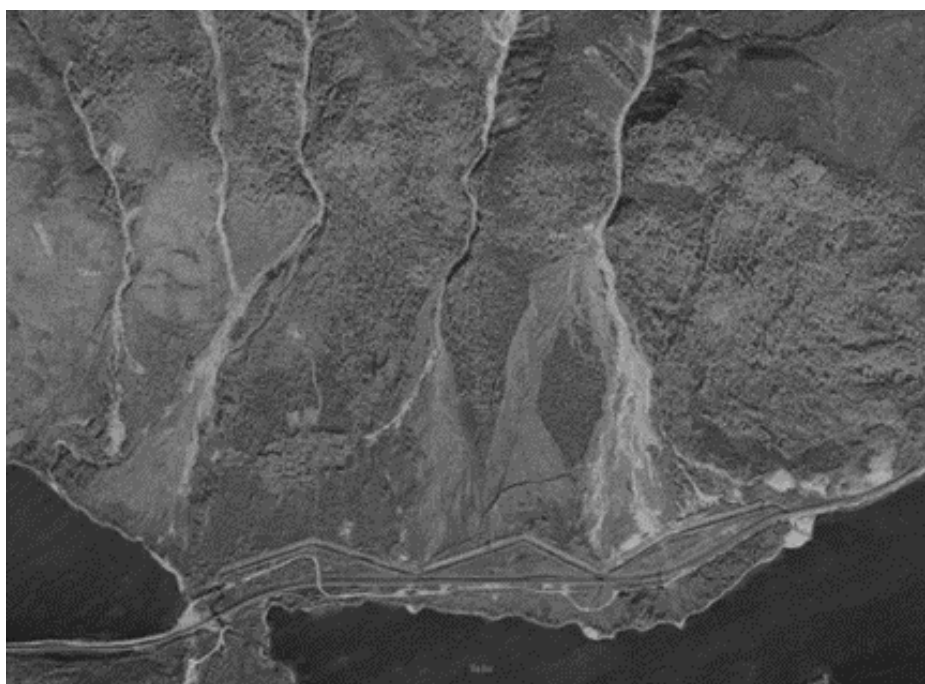


Рис. 8. Частично заросшие следы схода серии селевых потоков 2001 года в районе озер Большое и Малое Леприндо. GeoEye, 2019

При дальнейшем движении на восток трасса БАМ смещается на юг, переходит на правый берег р. Чара и удаляется от селеопасных склонов Кодара.

*Баргузинская котловина.* Наиболее селеопасен восточный макросклон Баргузинского хребта, где практически изо всех поперечных долин III-IV порядков регулярно «выстреливают» селевые паводки, следы которых хорошо видны на космических снимках (рис. 9).

*Тункинская долина.* В Тункинской долине свежие селевые формы выявляются на снимках, пожалуй, лучше, чем на остальной территории Байкальской горной страны, однако они не столь известны, так как расположены достаточно

далеко от обжитых мест и крупных транспортных магистралей [7]. Больше всего следов селей обнаруживается в районе массива Мунку-Сардык в районе слияния Белого и Черного Иркутта и по крутому сбросовому южному макросклону альпийских Тункинских гольцов (рис. 10) в районе поселка Аршан. На схеме показаны: водоразделы (1), русла без следов селевой деятельности (2), русла со следами прохождения селей (3), селитерные территории (4), озера (5).



Рис. 9. Селевые паводки на конусах выноса Баргузинского хребта у с. Алла

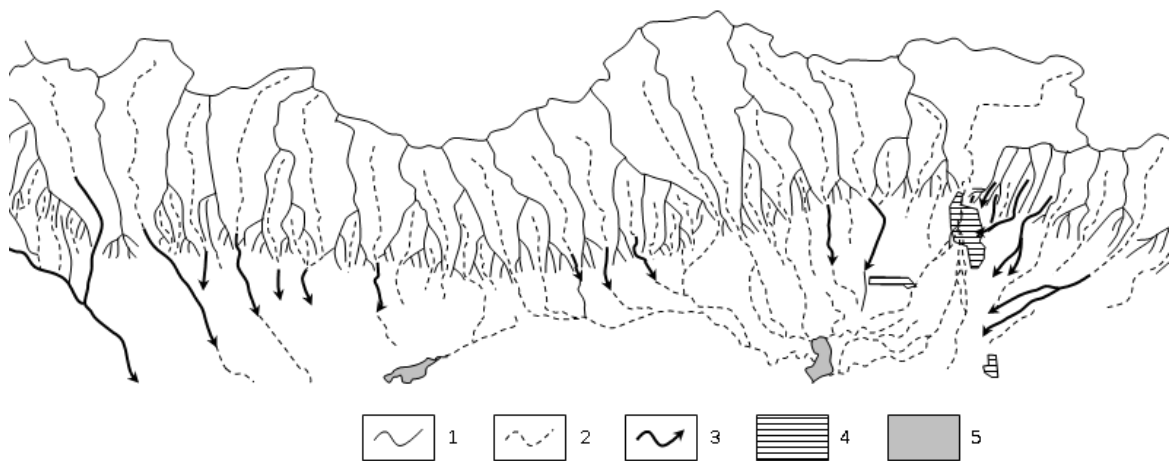


Рис. 10. Пораженность селями южного склона Тункинских Гольцов.  
Обозначения в тексте

*Морфометрический анализ.* Количественные морфометрические показатели выявленных селевых явлений определялись по ЦМР и космическим снимкам, которые позволяют получить длины, уклоны и высоты селевых русел как для селевого бассейна в целом, так и для их денудационно-транзитных и аккумулятивных частей. Также можно определить площади водосборов как по земной поверхности, так и в проекции на горизонтальную плоскость.

В таблице приведены данные по некоторым типичным селям региона.

Положение, порядок водотока	Пло- щадь бас- сейна, кв. км	Общая длина, м	Денудаци- онно-транзит- ная часть		Аккумуля- тивн. часть		Превышение, м
			длина	укло н	длина	уклон	
Тункинские гольцы, Аршан, р. Безымян- ный	2,0 / I	3,38	2,46	48/33	0,92	29/13	1783-1012-904
Тункинские гольцы, Аршан, 2-я Шихто- лайка	1,2 / I	4,56	3,20	44/23	1,36	16/9	1819-982-854
Тункинские гольцы, Аршан, р. Артемова	2,4 / I	6,30	4,30	41/25	2,00	22/10	1861-1000-813
Сев.-Муйский хр., лев. приток р. Под- каменный	16,6 / II	12,51	9,27	30/8	3,24	16/6	1298-679-490
Северо-Муйский хр., р. Глыбовый	27,3 /II	7,0	4,79	47/21	2,21	19/10	1743-706-488
Кодар, озеро Б. Леприндо, во- сточный сель	5,5 / II	3,53	2,49	61/31	1,04	19/8	1944-1080-978
Кодар, приток р. Сыгыкта против устья, р. Леднико- вой	5,5 / II	3,0	2,4	57/31	0,60	32/18	1823-1162-1050

### *Заключение*

– космические снимки открытого доступа отображают широкий диапазон селевых потоков, вплоть до мелких, выносящих 1–5 тыс. м<sup>3</sup>, и, совместно с ЦМР и топографическими картами, позволяют выявлять, дешифровать и картографировать их морфологические особенности: селевые бассейны, зоны зарождения, транзита и аккумуляции;

– прямые дешифровочные признаки позволяют выявлять селевые явления не старше нескольких десятков лет, следы селевой деятельности более раннего возраста можно предполагать только по косвенным (ландшафтным) признакам с привлечением материалов полевых исследований;

– больше всего *свежих* долинных селепроявлений, несущих характерные черты водо- и грязекаменных потоков (селевые врезы, селевые гряды и конуса выноса), зафиксировано в руслах водотоков первого, реже второго порядков, сходящих с крутых сбросовых макросклонов Тункинских Гольцов, Баргузинского, Верхнеангарского, Северо-Муйского хребтов и хребта Кодар, расположенных в пределах бассейнов площадью до 50 км<sup>2</sup>, имеющих длины до 10 км и средние уклоны порядка 30° для денудационной и 15° для аккумулятивных частей; эти долины наиболее опасны для железных и автомобильных дорог, ЛЭП, нефтепроводов и населенных пунктов, зачастую расположенных в зоне подгорных аккумулятивных пролювиальных шлейфов;

– свежих селевых явлений на наиболее опасных участках южного макросклона хребта Хамар-Дабан по космическим снимкам не наблюдается, из-за густой растительности, покрывшей следы залповых выбросов селей в 1971 году; это означает, что неминуемая активизация селевых процессов в этом районе потенциально возрастает все больше и больше;

– водотоки более крупных порядков (третьего, четвертого), такие как Кынгарга, Тья, Анамакит и т.п., обычно несут следы селевых паводков в виде полос селевой аккумуляции вдоль расширенных пойм при отсутствии конусов выноса;

– многочисленные *свежие* склоновые сели прекрасно выявляются по космическим снимкам в пределах элементарных бассейнов (площадью 1–2 км<sup>2</sup>) при водораздельных частях высоких альпинотипных хребтов на прямых и коротких склонах каров и трогов в гольцовой зоне; они представляют собой лишь потенциальную опасность, вследствие практической необжитости занимаемой территории (за исключением участков, примыкающим к пробитым в межгорных перемычках тоннелей – Байкальского, четырех Мысовых, Северо-Муйского, Кодарского), где они представляют определенную опасность наряду с парагенетическими лавинами, осыпями и оползнями.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пластинин Л.А., Ступин В.П. Программы картографо-космического мониторинга природных и антропогенных процессов и явлений (на примере Байкальского региона) // Мат-лы Всеросс. науч.-практ. конф. «Совершенствование средств и методов сбора и обработки геопространственной информации и системы подготовки специалистов в области топогеодезического и навигационного обеспечения». – СПб, 2016. – с. 246-252.

2. Ступин В.П., Пластинин Л.А., Олзоев Б.Е. Новые принципы и приемы системного картографирования селевой опасности Южного Прибайкалья с использованием ГИС и ДЗЗ из космоса // От карты прошлого – к карте будущего: сб. науч. тр. – Пермь, 2017. Т. 2. – с. 184-195.

3. Лехатинов А.М. Природные индикаторы распространения и активности проявления селей // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Материалы V Международной конференции. – Грузия, Тбилиси, 2018. с. 438-443.

4. Лехатинов А.М. Дендрологический метод установления времени и периодичности прохождения селевых потоков. Вестник МГУ. Серия география. 1967, 2. – с. 140-142.

5. Лапердин В.К., Леви К.Г., Имаев В.С., Молочный В.Г. Опасные геологические процессы в юго-западном Прибайкалье. – Иркутск, 2012. – 206 с.

6. Макаров С.А. Сели Прибайкалья – Иркутск, 2012. – 111 с.

7. Ступин В.П., Пластинин Л.А., Олзоев Б.Е. Морфодинамическое картографирование селевой опасности гор Южного Прибайкалья. – Геориск, 2018. № 4 – с. 86-95.

© В. П. Ступин, 2020