

Е.С. Зелепукина<sup>1</sup>, С.А. Гаврилкина<sup>2</sup>, Г.В. Пряхина<sup>3</sup>

## ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОЧАГОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОПАСНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ГОР ЮЖНОЙ СИБИРИ)

### АННОТАЦИЯ

Зафиксированные следы схода селевых потоков свидетельствуют об изменении селевого режима в низкогорьях и среднегорьях Западного Саяна и обуславливают необходимость пересмотра степени селевой опасности региона. Анализ природных и антропогенных предпосылок усиления селевой деятельности показал приоритетное влияние последних.

Установлено отсутствие значимых отклонений значений показателей интенсивности осадков от нормы. Выявлено, что сход небольших по размеру селей на склонах средней крутизны является результатом совместного действия различных видов хозяйственной деятельности. Возникновению селевой опасности в бассейнах малых рек способствуют открытые разработки полезных ископаемых, сопутствующие дорожно-строительные работы, формирующие значительные объёмы рыхлого материала, а также сплошная рубка леса. В результате последней происходит активизацией склоновых процессов вследствие нарушения стабилизирующей функции растительного покрова.

Деградация таёжного пояса вызвана преимущественно масштабными лесозаготовительными работами, проводимыми в регионе более полувека. Показано, что при незначительном снижении показателя общей залесённости произошли серьёзные изменения структуры лесного покрова, что сказывается на интенсивности эрозионных процессов и увеличении твёрдого стока рек на протяжении нескольких десятилетий.

Предложен комплексный подход для выявления потенциальных селевых очагов, включающий применение дистанционных методов обнаружения зон техногенного воздействия, морфометрический анализ водосборов, подверженных значительному антропогенному нарушению, оценку площадей трансформированных территорий, анализ временной изменчивости гидрометеорологических характеристик, динамики ландшафтной структуры. В связи с недостаточной обеспеченностью кадастровой информацией о параметрах почвенно-растительного покрова соответствующего масштаба, необходимо проведение полевых исследований на ключевых участках, направленных на актуализацию имеющейся базы данных.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Западный Саян, селевые потоки, антропогенная трансформация ландшафтов

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, пр. Большевиков, д. 22, 193232, Санкт-Петербург, Россия; *e-mail*: [elezelepu@gmail.com](mailto:elezelepu@gmail.com)

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, Университетская наб., д. 7–9, 199034, Санкт-Петербург, Россия; *e-mail*: [svetilnic@mail.ru](mailto:svetilnic@mail.ru); [s.gavilkina@spbu.ru](mailto:s.gavilkina@spbu.ru)

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, Университетская наб., д. 7–9, 199034, Санкт-Петербург, Россия; *e-mail*: [g.pryahina@spbu.ru](mailto:g.pryahina@spbu.ru)

Elena S. Zelepukina<sup>1</sup>, Svetlana A. Gavrilkina<sup>2</sup>, Galina V. Pryakhina<sup>3</sup>

**AN APPLICATION OF GIS TECHNOLOGIES  
FOR IDENTIFYING THE POTENTIAL FOCI OF OCCURRENCE  
OF HAZARDOUS HYDROLOGICAL PHENOMENA  
(BY THE EXAMPLE OF MOUNTAINS OF SOUTHERN SIBERIA)**

**ABSTRACT**

Captured evidences of debris flows declare the obvious changes of mudflow regime in the West Sayan midland and lowland areas and require the need to review the levels of regional hazard risk. The analysis of natural and man-made preconditions of debris flows increasing revealed the priority impact of the last ones.

The absence of meaningful deviations from the normal of precipitation intensity targets was identified. It has been found that small debris flows on the middle grade of steepness slopes are a result of the combined activity of the different economic activities. Surface mining, associated road construction work, forming considerable amount of free of loose material, and active logging as well all contribute to emergence of debris flows hazard in basins of small rivers. The disruption of plant cover stabilizing role lead to the intensification of slope erosion processes.

Taiga belt degradation was caused mainly by the large logging lasted in the region more than half a century. It is shown, that a slight decrease in the general forest cover has led to a serious changes of forest structure, which affects the intensity of slope erosion processes and increase in the sediment loads in rivers for several decades.

A comprehensive approach to identify potential hotbeds of debris flows was proposed. It comprises the use of remote techniques in detection of human impact areas, morphometric analysis of watersheds affected by a large anthropogenic disturbance, assessment of areas under transformation, analysis of the temporal variability of hydro-meteorological characteristics and landscape structure dynamics. Due to the lack of availability of cadastral information of vegetation, soil and slope characteristics at an appropriate scale there is a need for more field research in key areas aimed at updating of the existing database.

**KEYWORDS:** West Sayan ridge, debris flow, anthropogenic landscape transformation

**ВВЕДЕНИЕ**

Растущая хозяйственная активность в горных районах юга Сибири, помимо несомненной экономической выгоды, приводит к увеличению числа техногенных аварий, влекущих за собой не только значительные материальные потери, но и в отдельных случаях человеческие жертвы. Это диктует необходимость как ужесточения контроля качества технического исполнения и эксплуатации инженерных сооружений, так и расширения работ по научно обоснованному выявлению районов с повышенной потенциальной опасностью возникновения природных явлений, таких как сели, наводнения и др., трудно прогнозируемых в силу ряда объективных причин (редкая сеть постов режимных наблюдений, скудность эмпирических материалов, труднодоступность и малоизученность многих районов, внезапность проявлений и пр.).

---

<sup>1</sup> Federal State Budget-Financed Educational Institution of Higher Education “The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications”, Bolshieviki Ave, 22, 193232, St. Petersburg, Russia;  
*e-mail: elezelepu@gmail.com*

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Universitetskaya quay, 7–9, Russia, 199034, St. Petersburg, Russia; *e-mail: svetilnic@mail.ru; s.gavilkina@spbu.ru*

<sup>3</sup> Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Universitetskaya quay, 7–9, Russia, 199034, St. Petersburg, Russia; *e-mail: g.pryakhina@spbu.ru*

В процессе всестороннего изучения природных условий региона, особенно с точки зрения увеличения числа повторяемости опасных гидрологических явлений, ведущая роль принадлежит междисциплинарным исследованиям. Согласно районированию селеопасных территорий [Перов, 1976], горы юга Сибири характеризуются средней степенью селеопасности только на Алтае и Восточном Саяне, а территория Западного Саяна в целом вообще не относится к селеопасным районам. Однако в ходе комплексных полевых исследований в бассейне р. Абакан были зафиксированы многочисленные следы сходов небольших селевых потоков (рис. 1).

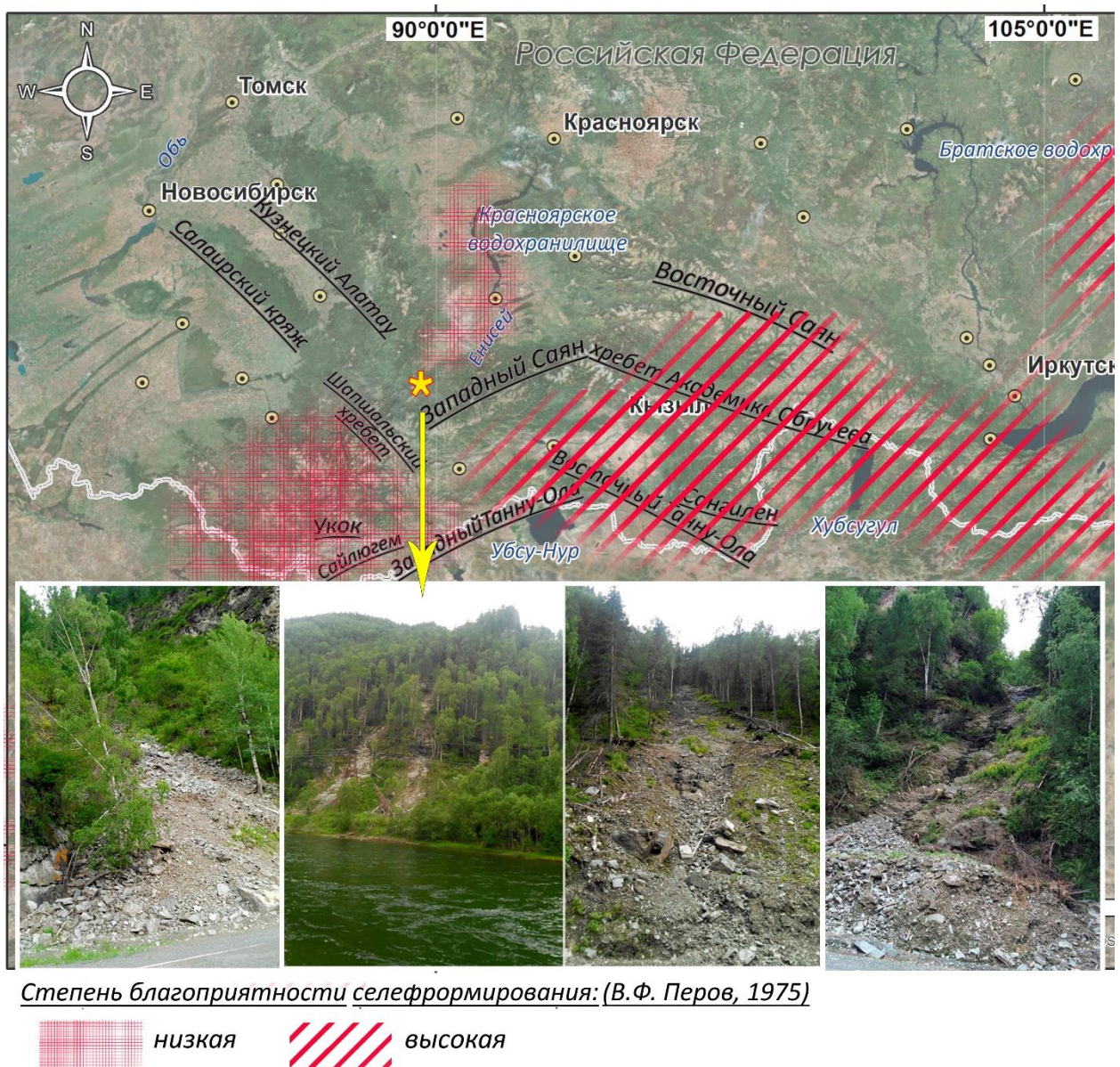


Рис. 1. Район исследований с наложенной картой районирования по условиям селефрормирования

(\* обозначены места схождения селевых потоков)

Fig. 1. Investigated region with overlaid map of zoning by the terms of debris flow forming

(debris flows occurrence areas marked as \*)

При изучении структуры и интенсивности селевых потоков широко применяются современные компьютерные технологии и геоинформационные методы [Baltakova et al., 2018; Jun Xu et al., 2017; Melelli, Taramelli, 2004]. Однако в вопросах, связанных с оценкой селевой опасности и изменения селевой активности отдельных регионов, необходимо объединение усилий специалистов различных направлений. Для разработки стратегии хозяйственного развития и принятия управленческих решений требуются регионально обоснованные междисциплинарные исследования. Изменение селевого режима территории может быть вызвано действием как природных, так и антропогенных факторов. Соответственно, выявление причин возникновения нехарактерных для территории низко- и среднегорных частей хребта Западный Саян опасных гидрологических явлений представляется первостепенной задачей. В связи с этим целью настоящего исследования является разработка подходов к выявлению потенциальных очагов возникновения опасных гидрологических явлений в горных районах юга Сибири на основе ГИС-технологий.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом послужили данные полевых исследований, полученные авторами в ходе комплексных экспедиций в горах юга Сибири в 2011–2017 гг., включающие, помимо нескольких сотен ландшафтных описаний, измеренных значений ряда гидрологических характеристик и параметров почвенно-растительного покрова, зафиксированные последствия схождения селей на участке действующей автомобильной трассы Абаза–Ак-Довурак.

Оценка роли климата в изменении режима селеопасности региона в настоящей работе приведена по результатам предыдущих исследований авторов и литературным данным.

Выбор ключевого участка основывался на непосредственных полевых наблюдениях авторов. Основные ландшафтно-гидрологические и ландшафтно-динамические характеристики региона исследований получены авторами ранее. В частности, в результате гидрологического моделирования с использованием данных режимных гидрометеорологических наблюдений с суточным разрешением и параметров почвенно-растительного покрова была оценена роль отдельных однородных участков бассейнов, называемых стокоформирующими комплексами (СФК), в формировании интегрального стока водосборов. Выделение СФК, т.е. дифференциация территории по величине уклонов, составу подстилающих пород, степени дренированности, наличию почвенно-растительного покрова, типу растительных сообществ и др., проводилось на основе ландшафтной карты (масштаб 1:5 00 000), составленной авторами. База данных для каждого стокоформирующего комплекса включает регионально обоснованные диапазоны значений таких параметров модели, как максимальные/минимальные значения сезонной затенённости кронами деревьев, ёмкости перехвата осадков всеми ярусами растительности, альбедо и др., полученных с учётом видового состава и проективного покрытия каждого яруса. При моделировании водно- и теплофизических процессов в почве для каждого расчётного слоя глубиной 0.1 м задавались параметры в соответствии с характеристиками почвы, полученными по полевым описаниям почвенных разрезов, включая рассчитанные по данным непосредственных измерений значения коэффициентов фильтрации.

Выявление площадей лесных массивов, подверженных серьёзному антропогенному нарушению, проводилось на основе сопряжённого анализа разновременных космических

снимков, находящихся в открытом доступе. Для морфометрического анализа использовалась цифровая модель рельефа с разрешением 1 угл. сек<sup>1</sup>.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Относительно небольшие размеры выявленных селевых очагов (ширина потока, размер селеактивной площади, объём выноса и пр.) не позволяют отнести зафиксированные сели к сейсмогенным при том, что Саяны в целом характеризуются достаточно высокой сейсмической активностью.

В целом на территории Западного Саяна участки высокогорий, занятые каменными или щебнистыми осыпями (сланцев, серпентинитов и др.) с отсутствующим или плохо развитым почвенно-растительным покровом, занимают относительные малые площади. Иными словами, морфологические и морфометрические характеристики рельефа большинства водосборных бассейнов региона (абсолютные и относительные высоты, уклоны, локальность распространения рыхлых, несцементированных отложений и др.) можно назвать малоблагоприятными для формирования селей.

Как известно, климатический фактор определяет не только возникновение, но и частоту повторяемости опасных гидрологических явлений. В Алтае-Саянском регионе за период с 1961 по 2012 гг. тренд к незначительному увеличению количества атмосферных осадков отмечен только для внутригорных котловин (Минусинской и Тувинской), тогда как в среднегорье, напротив, наблюдается сокращение годовых сумм осадков: на северо-западе Республики Тыва (метеостанция Мугур-Аксы), а также в Хемчикской котловине [Андрейчик, 2010]. На этом фоне в регионе наблюдается рост суточных сумм осадков [Харламова, 2013]. Учитывая, что возникновение опасных гидрологических явлений в большей степени определяется осадками ливневого характера, а на азиатской части территории России интенсивность ливней в начале XXI в. увеличилась [Семёнов, 2012], для Алтае-Саянского региона в качестве количественных характеристик интенсивных осадков использовались следующие индексы, предложенные Всемирной метеорологической организацией: R10 (количество дней с осадками не ниже 10 мм) и тах5 (максимум сумм осадков тёплого периода, выпадающих в течение 5 дней подряд, способных вызвать переувлажнение почв и грунтов и, как следствие, связанные с ними особо опасные явления).

В многолетнем ходе максимума скользящих 5-дневных сумм осадков прослеживается уменьшение этого показателя на 5 станциях, расположенных на высотах от 254 до 1 404 м. Выявлена значительная изменчивость индикатора переувлажнения — показателя R10 от года к году, а также разнонаправленный характер продолжительности интенсивных осадков в низкогорьях (ст. Минусинск) и среднегорьях (ст. Оленья речка).

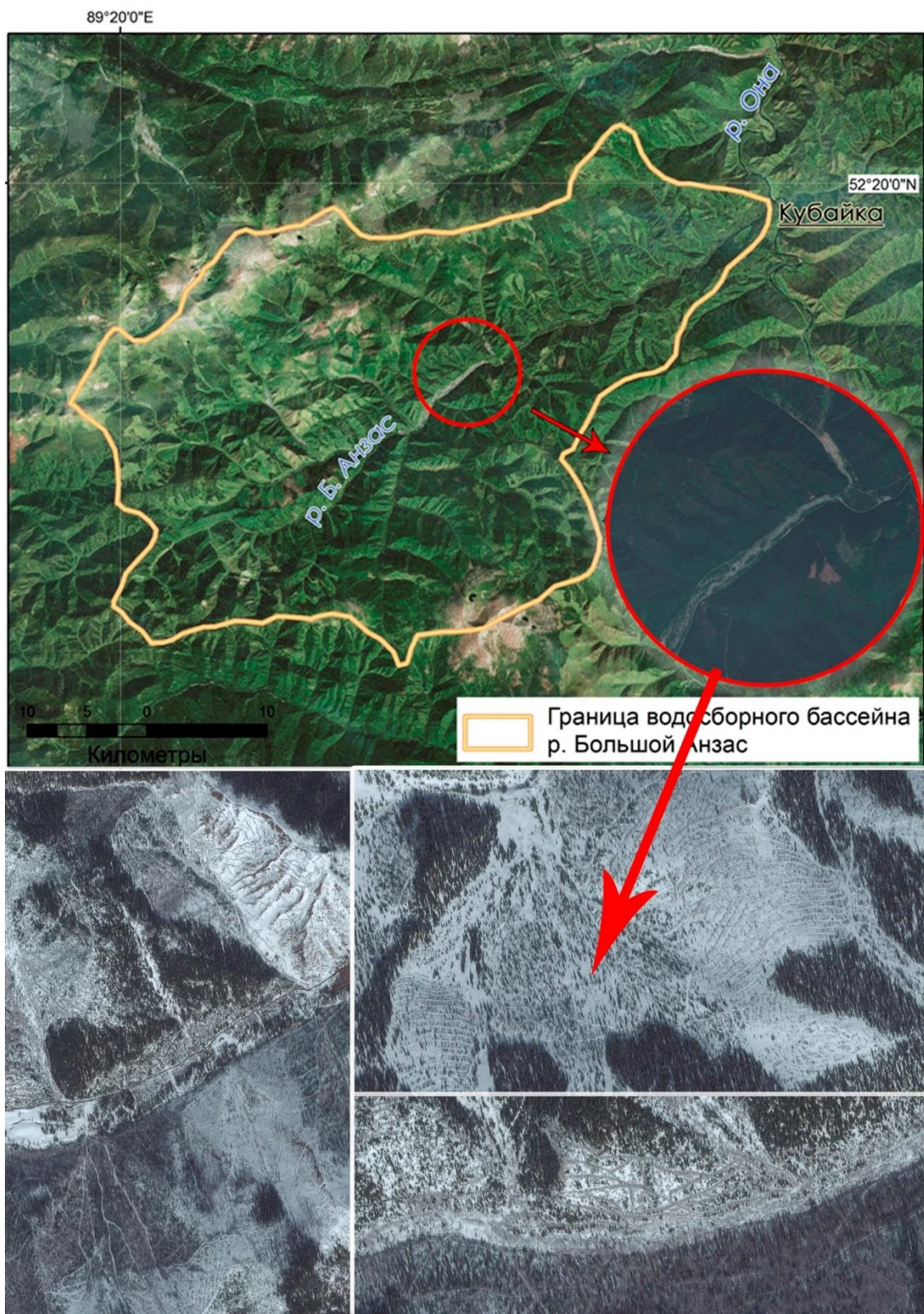
Отметим, что предварительный анализ суточных сумм осадков по метеостанции Щетинкино также не выявил существенных превышений показателей перед катастрофичным прорывом плотины, случившимся в Курагинском районе Красноярского края на р. Сейба осенью 2019 г.

Таким образом, увеличение в регионе количества опасных гидрологических явлений нельзя объяснить изменениями природных процессов без детального анализа роли антропогенного фактора.

В исследуемом районе основными видами хозяйственной деятельности, оказывающими прямое воздействие на природные комплексы на наибольших площадях, являются горнодобывающая и лесная промышленность.

---

<sup>1</sup> Using the USGS Landsat & Product / United States Geological Survey official website. Электронный ресурс: <https://lpdaac.usgs.gov> (дата обращения 24.05.2019)



*Рис. 2. Вверху — водосборный бассейн р. Б. Анзас, хребет Шаман (круглая врезка — трансформация русла в ходе добычи открытым способом, 2016 г.; внизу — отчётливые следы сведения растительного покрова на склонах долины, 2019 г.)*  
*Fig. 2. On the top — the catchment area of B. Anzas river, Shaman ridge (round box — riverbed transformation during the open pit mining, 2016; on the bottom — visible marks of deforestation on the valley slopes, 2019)*

Сведение лесных массивов в горах неминуемо сказывается на активизации эрозионных процессов и увеличении твёрдого стока рек, находящихся в прямой связи с лесистостью бассейна и структурой лесного покрова.

Исследования динамики ландшафтов Западного Саяна показали заметные изменения структуры таёжного пояса с началом масштабных рубок во второй половине прошлого века: значительное сокращение площадей темнохвойных кустарничково-зеленомошных лесов в среднегорьях и особенно кедровых разнотравных лесов в низкогорьях, которые в настоящее время замещены производными мелколиственными и хвойно-мелколиственными разнотравными лесами, представляющими собой различные стадии послерубочных и постпирогенных сукцессий.

Хотя соотношение лесопокрытых и безлесных территорий в регионе в целом изменилось незначительно, сам факт схождения многочисленных небольших по объёму селевых потоков свидетельствует об изменении режима селеопасности. Добавим, что в силу развития технологии лесозаготовок в последние десятилетия рубкам подвергаются леса на склонах крутизной более  $15^\circ$ , что в наибольшей степени ускоряет развитие склоновых процессов.

Коренные темнохвойные леса характеризуются хорошо развитым подлеском и моховым покровом, выполняющими важную регулирующую и противоэрозионную функцию: древесная растительность армирует субстрат корневой системой, а лесная подстилка, отличающаяся большой водопроницаемостью и водопоглотительной способностью, замедляет и уменьшает поверхностный сток, переводя значительную его часть во внутрigrунтовый и защищая таким образом склоны от размыва.

Вторичные лиственные леса в роли регуляторов стока значительно уступают коренным хвойным. Это связано с особенностями корневых систем, структурой и составом напочвенного покрова, сезонными колебаниями проективного покрытия древесного полога и др. В первые годы после рубок до 60 % от суммы атмосферных осадков переходит в сток; но даже спустя 20–30 лет (на мелколиственной стадии восстановительных сукцессий) стабилизирующая функция леса полностью не восстанавливается [Буренина и др., 2011]. В силу этого на склонах, пройденных сплошными рубками более десяти лет назад, велика вероятность формирования относительно небольших потоков с различной величиной селевых выносов. Характерная для многих селей, локализованных вдоль эрозионных ложбин, повышенная повторяемость, очевидно, связана со временем восстановления стабилизирующей функции исходных лесов.

Результаты модельных расчётов продемонстрировали отличия значений гидрологических характеристик стока для лесов, различающихся по составу, сомкнутости древостоя, характеру напочвенного покрова, выраженностью и крутизной склонов. Выявлено приоритетное значение в формировании годового стока безлесных участков: в пересчёте на единицу площади наибольшие модули и коэффициенты стока характерны для гольцовых и тундрово-луговых комплексов, что связано с низкими фильтрационными свойствами щебнистого покрова поверхностных отложений [Пряхина и др., 2020].

Выявленные в Таштыпском районе Хакасии селевые очаги, расположенные в целом вдали от мест добычи полезных ископаемых открытым способом, иллюстрируют последствия опосредованного влияния лесозаготовок на изменение режима селеопасности. Наибольшую опасность представляет совместное однонаправленное действие нескольких антропогенных факторов. В этом случае возникает угроза не только для объектов инженерной инфраструктуры, но и для жилых построек населённых пунктов. Так, например, в нескольких километрах от пос. Кубайка в 2016 г. было отмечено существенное повышение мутности воды, связанное с проведением

горнодобывающих работ в долине р. Большой Анзас (левый приток р. Она). Добыча руды открытым способом в среднем течении реки, помимо полного уничтожения почвенно-растительного покрова в прирусловой части, привела к основательной трансформации формы и уклона долины и склонов и образованию большого объёма рыхлого материала. В тот же период склоны долины, занятые спелым темнохвойным лесом, были разбиты на делянки и размечены под рубки на десятки км<sup>2</sup> ниже по течению от места добычи полезных ископаемых в долине. По состоянию на 2019 г. (рис. 2) уже произведены значительные площадные рубки на участках, примыкающих к очагу техногенного воздействия. Столь масштабное сведение леса на территории небольшого водосборного бассейна (площадью ~ 540 км<sup>2</sup>) неизбежно скажется на увеличении поверхностного стока, что, учитывая запас имеющегося рыхлого материала, делает долину потенциально селеопасной даже при незначительных уклонах главного русла реки: резко возрастает вероятность прорыва грунтовых плотин, не рассчитанных на существенное увеличение стока с территории водосборного бассейна (за счёт увеличения модуля стока с обезлесенных территорий) при интенсивных осадках.

При оценке селевой опасности территории представляется целесообразным применение комплекса методов смежных дисциплин. Принимая во внимание размах и продолжительность лесозаготовительных работ в горах юга Сибири, в первую очередь необходимо выявить территории с полностью или частично уничтоженным лесным покровом на основе дешифрирования космических снимков.

Затем, в зависимости от поставленной задачи, следует определить конкретные водосборные бассейны, для которых будет проводиться оценка вероятности схода селей. В пределах этих водосборов необходимо выявить участки, где был сведён лес, вследствие чего произошла серьёзная трансформация гидрологических характеристик территории; определить площади, где будет наблюдаться усиление денудации, скорость которой напрямую связана с высотой и крутизной склонов, а также резкое увеличение поверхностного стока.

В связи с тем, что, по нашему мнению, в условиях высокой степени антропогенного преобразования таёжного пояса показатель «лесистости» при оценке селеопасности территории недостаточно информативен, в пределах водосборных бассейнов следует определять не только долю лесопокрытой территории, но и соотношение производных и условно коренных лесов. Это особенно важно при долгосрочных оценках, т.к. гидрологические характеристики нарушенных комплексов меняются в течение длительного периода вслед за изменениями параметров почвенно-растительного покрова (рис. 3). Регионально обоснованные параметры стокоформирующих комплексов, а также необходимость учёта локальных факторов формирования и перераспределения стока приведены в [Пряхина и др., 2020].

Далее для территорий, подвергнутых значительному изменению структуры древостоя в ходе рубок или пожаров (рис. 4 а), необходим детальный анализ морфометрических характеристик долин водосборных бассейнов (общая площадь и форма бассейна, распределение площадей по высотным интервалам, уклон рельефа на склонах, уклон главного русла, густота речной сети и глубина расчленения) с применением цифровых моделей рельефа высокого разрешения (рис. 4 б, в).

Считаем важным добавить, что для некоторых нарушенных участков, выбранных в качестве ключевых, в ходе экспедиционных исследований обязательно должны быть уточнены характеристики почвенно-растительного покрова, влияющие на гидрологический режим конкретного бассейна и прилегающих территорий.



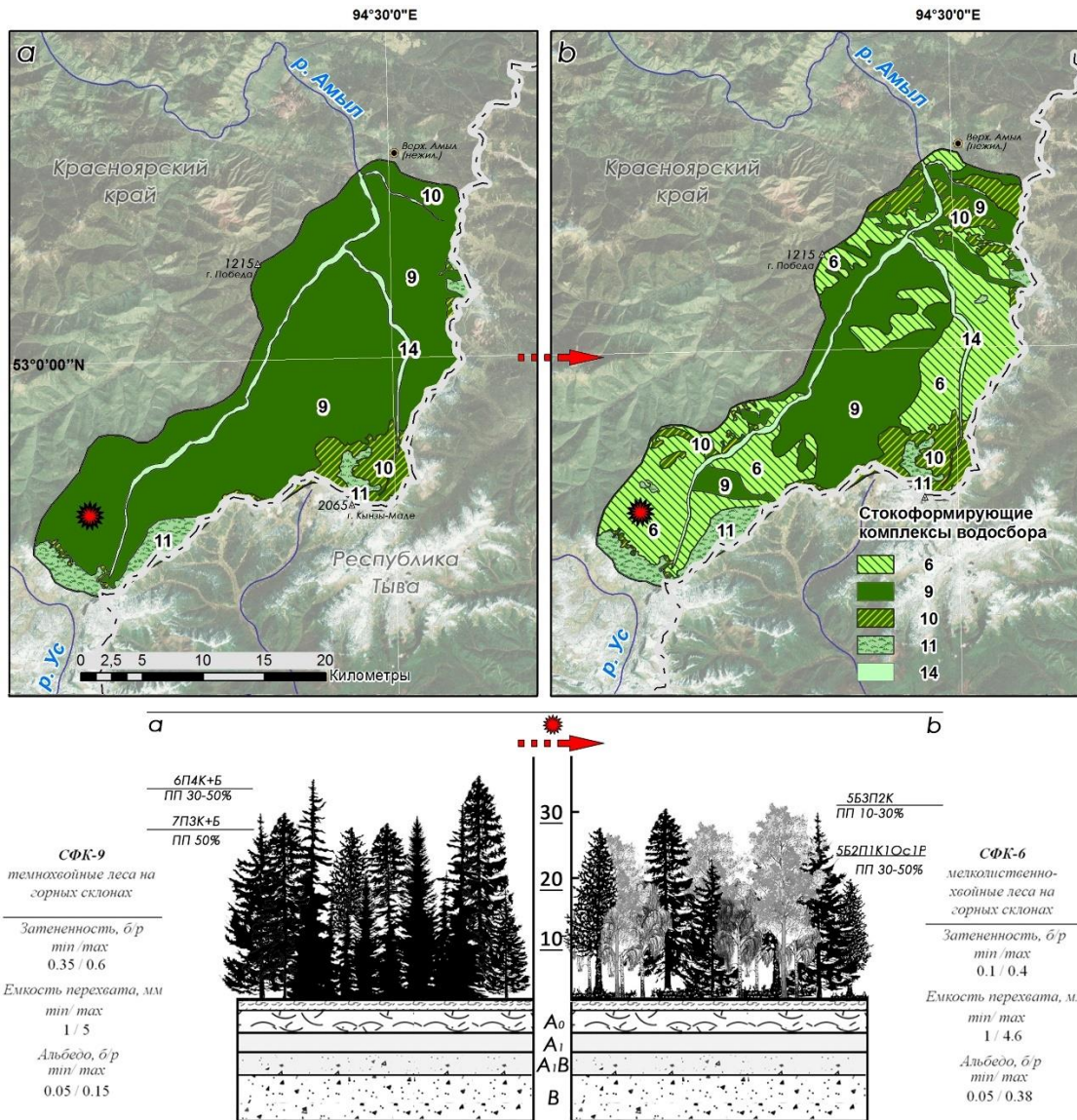
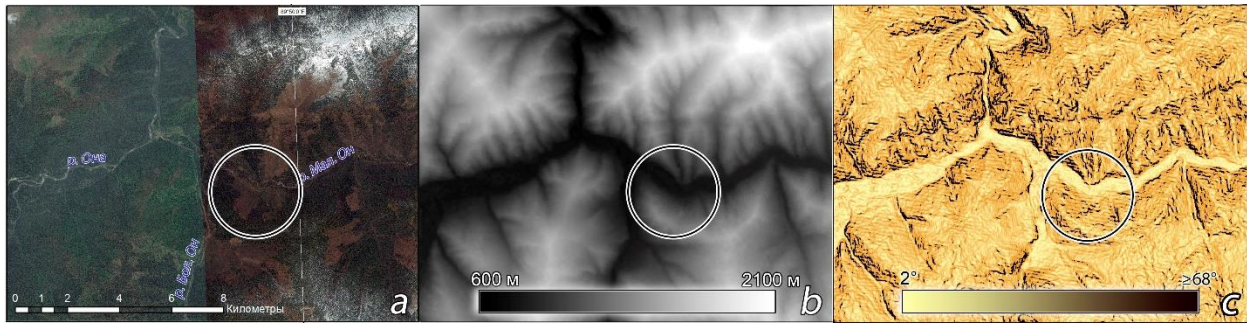


Рис.3. Трансформация ландшафтной структуры и параметров стокоформирующих комплексов верхней части бассейна р. Амыл (приток р. Туба)  
 Вверху — усложнение пространственной структуры территории в ходе лесовосстановительных сукцессий: а — реконструкция коренного состояния; б — современное состояние. Цифрами обозначены стокоформирующие комплексы: 6 — мелколиственно-хвойные леса на среднекрутых склонах; 9 — темнохвойные леса на среднекрутых склонах; 10 — редкостойные темнохвойные леса на среднекрутых склонах; 11 — среднегорные луга и тундры; 14 — долинные мелколиственные и хвойные леса.  
 Внизу: параметры почвенно-растительного покрова коренных (СФК-9) и производных (СФК-6) лесов. В числителе дроби формула древостоя, в знаменателе — проективное покрытие (по ярусам)

Fig. 3 Transformation of landscape structure and runoff forming complexes characteristics of the upper Amil river basin (tributary of the Tuba river)  
 On the top — complication of spatial structure during the forest succession: a — reconstruction of the initial conditions; b — current state. Runoff forming complexes are marked by numerals: 6 — parvifoliolate-coniferous forests on the middle grade of steepness slopes; 9 — coniferous forests on the middle grade of steepness slopes; 10 — light coniferous forests on the middle grade of steepness slopes; 11 — middle highland meadows and tundra; 14 — valley small-leaved and coniferous forests



*Рис. 4. Применение ландшафтно-гидрологического подхода при оценке селеопасности:  
a — снимок; b — цифровая модель рельефа; c — модель уклонов  
(выделен участок сплошной вырубki)*

*Fig. 4 Landscape-hydrological approach to evaluation of debris flows risk:  
a — space shot; b — digital elevation model; c — model of gradient pattern  
(clear cutting areas are marked)*

## ВЫВОДЫ

Анализ природных и антропогенных факторов селеобразования показал, что в семигумидных условиях низко- и среднегорий Западного Саяна формирование селей является следствием деградации таёжного пояса, вызванной многолетними лесозаготовительными работами. В условиях активной горно-долинной циркуляции летние ливневые осадки хотя и носят очаговый характер, но, выпадая над нарушенными ландшафтами, приводят к образованию новых селевых очагов.

Целесообразность применения ландшафтно-гидрологического и ландшафтно-динамического подходов при выявлении потенциальных селевых очагов и прогнозе изменения режима селеопасности территории связана с длительностью процессов восстановления стокорегулирующих функций растительного покрова.

Применение ГИС-технологий при анализе селеопасности небольших водосборных бассейнов, подверженных антропогенной трансформации, позволит не только выявить районы, где достаточными превентивными мерами будут лесовосстановительные работы и научно-обоснованная организация лесозаготовок, но и локализовать участки, где уже остро обозначилась необходимость возведения селезадерживающих и селеотводящих сооружений.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, грант № 19-05-00535 А.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the Russian Foundation of Basic Research, grant No 19-05-00535 A.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрейчик М.Ф. Изменение индекса континентальности на фоне потепления климата в Тувинской горной области. Оптика атмосферы и океана, 2010. Т. 23. № 1. С. 1–6.
2. Балтакова А., Николова В., Кендерова Р., Христова Н. Применение ГИС и данных дистанционного зондирования для анализа селевых потоков на примере изучения восточных предгорий Пирина (Болгария). Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: Труды 5-й Международной конференции. Тбилиси, Грузия, 1–5 октября 2018 г. Тбилиси: Универсал, 2018. С. 22–32.

3. Буренина Т.А., Овчинникова Н.Ф., Федотова Е.В. Изменение структуры водного баланса на вырубках черневой тайги Западного Саяна. География и природные ресурсы, 2011. № 1. С. 92–100.
4. Перов В.Ф. Районирование селеопасных территорий СССР. Селеопасные районы Советского Союза. М.: Издательство Московского университета, 1976. С. 287–293.
5. Пряхина Г.В., Зелепукина Е.С., Гаврилкина С.А., Соловьёв В.А., Амбурцева Н.И., Виноградова Т.А. Пространственная структура формирования стока на основе математического моделирования. Известия РАН. Серия географическая, 2020. Т. 84. № 2. С. 218–227.
6. Пряхина Г.В., Зелепукина Е.С., Журавлёв С.А., Осипова Т.Н., Амбурцева Н.И., Виноградова Т.А. Оценка стока с малых горных водосборов методами гидрологического моделирования. Вестник Московского университета. Серия 5. География, 2017. № 1. С. 29–37.
7. Семёнов В.А. Климатообусловленные изменения повторяемости и взаимосвязь опасных гидрометеорологических явлений на азиатской территории России. Климатология и гляциология Сибири. Материалы международной научно-практической конференции. Томск, 2012. С. 274–276.
8. Харламова Н.Ф. Оценка и прогноз современных изменений климата Алтайского региона. Барнаул: Издательство Алтайского государственного университета, 2013. 156 с.
9. Jun Xu J., Cheng X., Huang Q., Chen Y., Qi W., Yuan J., Yang J. Susceptibility evaluation of debris flow based on experience weight method combined with “3S” technology: A case study from Dongchuan in Yunnan Province, China. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017. V. 95. Iss. 2. P. 022051. DOI: 10.1088/1755-1315/95/2/022051.
10. Melelli L., Taramelli A. An example of debris-flows hazard modeling using GIS. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2004. No 4. P. 347–358. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-4-347-2004>.

## REFERENCES

1. Andrejchik M.F. Change of the continentality index in the context of a warming climate in Tyva mountains. Atmospheric and Ocean Optics, 2010. V. 23. No 1. P. 1–6 (in Russian).
2. Baltakova A., Nikolova V., Kenderova R., Hristova N. Application of GIS and remote sensing for analysis of debris flows: case study of western foothills of Pirin mountains (Bulgaria). Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection: Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference. Tbilisi: Universal, 2018. P. 22–32 (in Russian).
3. Burenina T.A., Ovchinnikova N.F., Fedotova E.V. Transformation of the water balance components in cutover areas and in derivative forests of the Western Sayan. Geography and Natural Resources, 2011. No 1. P. 92–100 (in Russian).
4. Jun Xu J., Cheng X., Huang Q., Chen Y., Qi W., Yuan J., Yang J. Susceptibility evaluation of debris flow based on experience weight method combined with “3S” technology: A case study from Dongchuan in Yunnan Province, China. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017. V. 95. Iss. 2. P. 022051. DOI: 10.1088/1755-1315/95/2/022051.
5. Kharlamova N.F. Evaluation and forecast of modern climate changes of the Altai region. Barnaul: Publishing House of Altai State University, 2013. 156 p. (in Russian).
6. Melelli L., Taramelli A. An example of debris-flows hazard modeling using GIS. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2004. No 4. P. 347–358. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-4-347-2004>.
7. Perov V.F. Zoning of debris flows-affected areas of USSR. Debris flows-affected areas of Soviet Union. Moscow: Moscow State University Press, 1976. P. 287–293 (in Russian).
8. Prjahina G.V., Zelepuкина E.S., Gavrilkina S.A., Solov'ev V.A., Amburceva N.I., Vinogradova T.A. Mathematical modeling of runoff formation spatial structure. Izvestia RAN. Seriya

Geograficheskaya (Proceedings of the RAS. Geographical Series), 2020. No 2. P. 218–227 (in Russian).

9. *Prjahina G.V., Zelepukina E.S., Zhuravljov S.A., Osipova T.N., Amburceva N.I., Vinogradova T.A.* The assessment of run-off from small mountain watersheds by hydrologic modelling. Herald of Moscow University. Series 5. Geography, 2017. No 1. P. 29–37 (in Russian).

10. *Semenov V.A.* Climate conditioned changes of recurrence and relationship of hydro-meteorological hazards on the Asia territory of the Russian Federation. Climatology and glaciology of Siberia. Proceedings of the International conference. Tomsk, 2012. P. 274–276 (in Russian).

---