



УДК 911.2:551.4

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.24.3>

Ландшафтная трансформация геосистем в зоне воздействия схода селевых потоков

Ж. В. Атутова, С. А. Макаров

Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск

Аннотация. Акцентируется внимание на исследовании ландшафтных трансформаций, обусловленных периодическим проявлением селевых событий, повторяемость которых в горах юга Восточной Сибири составляет 16–40 лет. Для раскрытия данной проблемы проведен анализ преобразования геосистем Тункинской котловины в результате схода селевых водогрязекаменных и грязекаменных потоков со склонов высокогорий Восточного Саяна. Представлена карта современной ландшафтной структуры северной части Тункинской котловины и ее горного обрамления с отраженными селевыми комплексами, сформированными после природной катастрофы 2014 г. В высокогорной части обозначены зоны зарождения и транзита грязекаменных потоков, в пределах переходной зоны от днщ впадин к горам – зоны транзита водогрязевых потоков и аккумуляции влекомых валунных наносов, на пологих склонах котловины – зоны транзита и аккумуляции взвешенных песчано-глинистых наносов. В ходе анализа ландшафтной структуры долин ряда рек, последствия схода селей по руслам которых имели разрушительный характер, выявлено, что наибольшей трансформации в результате произошедших катастрофических явлений подверглись почвенно-растительные слагаемые геосистем. В результате начатых мониторинговых наблюдений за восстановлением уничтоженного растительного покрова получены данные о метахронности динамических процессов – на зарастание зон аккумуляции валунных наносов потребуется около сотни лет, тогда как восстановление разнотравно-злаковых лугов с зарослями кустарников в пределах зон аккумуляции песчано-глинистых наносов происходит с более высокой скоростью.

Ключевые слова: селевые потоки, морфодинамические селевые зоны, аккумуляция наносов, ландшафтная структура, трансформация, восстановление, динамика геосистем.

Для цитирования: Атутова Ж. В., Макаров С. А. Ландшафтная трансформация геосистем в зоне воздействия схода селевых потоков // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2018. Т. 24. С. 3–16. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.24.3>

Постановка проблемы

Основополагающее влияние на становление современной ландшафтной структуры Тункинской котловины (Юго-Западное Прибайкалье) оказали геолого-геоморфологические условия, предопределившие формирование горно-котловинного рельефа, уникальностью которого является сочетание в сравнительно небольших границах разнообразных форм. Их многообразие и особенности строения обуславливают дифференциацию микроклиматических обстановок, сказывающихся, в свою очередь, на зонально-высотнопоясных различиях в распространении почвенно-растительного покрова, что в целом приводит к развитию на данной территории гольцовых и подгольцовых, а также горно-таежных и подгорных таежных геосистем. Функцио-

нирование этих геосистем протекает в условиях интенсивного воздействия современных экзогенных процессов, среди которых в пределах котловины наиболее развиты флювиальные, эоловые и эрозионные, а на склонах высокогорий – селевые и обвально-осыпные.

Проявление экзогенных процессов усиливает полихронность ландшафтной структуры [Петрушина, 2016; Debris flows of ... , 2016; Sati, 2007]. Причиной последнего «обновления» ландшафтной дифференциации геосистем Тункинской котловины и ее горного обрамления явилась природная катастрофа 28 июня 2014 г., когда в результате выпадения ливневых осадков по долинам горных рек, берущих начало со склонов Тункинских Гольцов, прошли паводки и сошли селевые потоки. В результате в пределах наклонных предгорных равнин и аллювиальной низины сформировались аккумулятивные комплексы наносов различного состава, внеся изменения в ландшафтный рисунок горно-таежных и подтаежных геосистем Тункинской котловины и ее горного обрамления. Анализ произошедших ландшафтных трансформаций в зонах воздействия селей является главной целью данной работы.

Объекты, территория и методы исследования

Основными объектами исследований выступают геосистемы, образованные в результате схода селевых потоков в пределах ключевого участка, включающего северную часть собственно Тункинской котловины и ее горное обрамление.

В пределах исследуемого участка переход поверхности днища котловины в склоны Тункинских Гольцов резкий и крутой; крутизна горных склонов превышает 30–35° [Логачев, Галкин, Голдырев, 1974]. Вертикальная амплитуда рельефа достигает 1740 м – от 2544 м в вершинной части Тункинских Гольцов северо-восточнее пос. Аршан до 804 м на урзе р. Кынгарга [Борисова, Волошин, 2015]. Ландшафтная структура в условиях переходной зоны от котловины к горам характеризуется распространением гольцовых альпинотипных, горно-таежных темнохвойных, горно-таежных лиственничных, а также подгорных и межгорных понижений подтаежных лугово-степных геомов, относящихся к североазиатским гольцовым и таежным геосистемам [Михеев, 1977].

Данная территория репрезентативна с точки зрения проявления опасных экзогенных процессов, в том числе схода селевых потоков. Восточный Саян в целом и хр. Тункинские Гольцы в частности являются наиболее селеопасной зоной на юге Восточной Сибири; частота катастрофических селепроявлений составляет 16–40 лет [Борисова, Волошин, 2015]. Первая задокументированная информация относится к событию, произошедшему 2 августа 1903 г.; следующие селевые сходы произошли в 1912, 1952, 1962 и 1971 гг. По генезису формирования они характеризуются как водо- и грязекаменные.

Для исследования произошедших ландшафтных трансформаций в результате последнего схода селевых потоков в июне 2014 г. нами при проведении полевых работ (2014–2017 гг.) осуществлены комплексные физико-

географические описания в пределах различных геоморфологических поверхностей. На их основе совместно с материалами лесотаксации, топографическими и тематическими картами, а также с космическими снимками Landsat ETM проведено картографирование современных геосистем, в результате которого отражено разделение территории на категории ландшафтных структур по типам зонально-высотнопоясных условий природной среды, различающимся по морфологическим, фитоценотическим свойствам, а также по характеру антропогенной преобразованности.

При картографировании использовалась 5-ступенчатая структура легенды, объединяющая тип природной среды – класс геомов – геом – класс фаций – группу фаций. Основой для их выделения послужила карта «Ландшафты юга Восточной Сибири» [Михеев, 1977]. Базируясь на структурно-динамическом направлении учения о геосистемах [Сочава, 1978], в пределах ключевого участка исследований выделили четыре класса фаций, состоящих из шести групп фаций и пяти антропогенно преобразованных комплексов. В силу влияния антропогенного фактора некоторые группы фаций в естественном состоянии не находят своего проявления в ландшафтной структуре исследуемого полигона, поэтому на карте большая их часть представлена производными состояниями.

В ходе решения задачи отражения влияния катастрофических экзогенных процессов на ландшафтный облик территории при картографировании обособлены нарушенные селевыми потоками комплексы, выделение которых осуществлено посредством дешифрирования разновременных космоснимков, а также с помощью снимков, полученных с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА).

Результаты исследований

Как было отмечено выше, дифференциация составляющих современной ландшафтной структуры Тункинской котловины и ее горного обрамления определяется сочетанием разнообразных форм рельефа – резко расчлененного высокогорья, предгорной наклонной равнины и озерно-болотной низины. С севера котловину окружают отроги Восточного Саяна – хр. Тункинские Гольцы, крутосклонный альпинотипный характер рельефа которого отражается на дифференциации почвенно-растительного покрова, что приводит к различиям в ландшафтной структуре, подчиненным высотной поясности. В пределах вершинного пояса получает развитие гольцовый и подгольцовый восточносаянский класс геомов, в составе которого выделены гольцовые альпинотипные геомы. Для данного пояса обособлен класс фаций резко расчлененного альпинотипного рельефа высокогорий с разреженным растительным покровом, развивающийся преимущественно на горно-тундровых гольцово-дерновых почвах [Почвенно-географическое районирование ... , 1962].

Территория, лежащая ниже подгольцовой зоны, отнесена к горно-таежному южносибирскому классу геомов, в пределах которого склоны высокогорий принадлежат горно-таежным темнохвойным геомам ограничен-

3 – пологих склонов лиственнично-сосновые травяно-кустарничковые (нет на фрагменте)

3а – пологих склонов осиново-березово-сосновые с лиственницей кустарничково-травяные, местами зеленомошно-травяно-кустарничковые

3б – пологих склонов сосново-березовые с участием осины и лиственницы кустарничково-травяные

4 – долин рек лиственнично-еловые зеленомошно-травяные (нет на фрагменте)

4а – долин рек лиственнично-елово-сосновые с участием березы зеленомошно-кустарничково-травяные

4б – долин рек травяно-осоковые луга, местами заболоченные, с зарослями березы и ивы вдоль русел, задействованные под сенокосы и пастбища

Подгорные и межгорных понижений подтаежные лугово-степные геомы

Класс фаций плоской озерно-аллювиальной равнины преимущественно лугово-болотный на лугово-черноземных и торфянисто-перегнойно-глеевых почвах

5 – озерно-болотной низины разнотравно-осоковые, местами разнотравно-хвощевые заболоченные луга (нет на фрагменте)

5а – озерно-болотные низинные разнотравные и разнотравно-злаковые заболоченные луга с зарослями ивы и ерника, задействованные под сенокосы и пастбища

б – озерно-болотной низины пологие склоны лиственнично-еловые травяно-зеленомошные (нет на фрагменте)

ба – пологих склонов долин березово-лиственнично-еловые травяно-зеленомошные, местами заболоченные

АНТРОПОГЕННО ПРЕОБРАЗОВАННЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Плоского слабонаклонного рельефа шлейфов, конусов выноса и внутренних дельт сельскохозяйственные угодья на агроземах

7 – пашни

8 – пологих склонов залежные остепненные разнотравно-вострещовые луга, местами с сосново-березовым и березово-сосновым подростом, используемые под сенокосы и пастбища

9 – пологих склонов разнотравные луга с колками сосново-березового и березово-соснового молодого леса (зарастающая пашня), используемые под сенокосы

Селитебные и транспортные объекты

10 – населенные пункты

11 – автомобильные дороги (а – шоссе, б – грунтовые)

ТРАНСФОРМИРОВАННЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЗОН СХОДА СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ (переменные состояния геосистем долинных комплексов)

12 – глубоковрезанных речных долин высокогорий зона зарождения и транзита грязекаменных потоков, а также зона аккумуляции валунных наносов (нет на фрагменте)

13 – речных долин предгорных территорий зона транзита водоэрозивных потоков и аккумуляции влекомых валунных и древесных (стволы, ветви и кора деревьев) наносов

14 – пойм и речных долин равнинных территорий, а также линейных селитебно-транспортных объектов зона транзита водоэрозивных потоков и аккумуляции взвешенных (песчано-глинистых) и древесных (стволы, ветви и кора деревьев) наносов

Примечание: цифрой обозначены группы фаций с естественным состоянием растительности, аналогичной цифрой с литерой – ее производные состояния.

Северные краевые части котловины вдоль подножий Тункинских Гольцов – это своего рода переходная зона от гор к днищам впадин, в пределах которой наибольшее развитие имеют горно-таежные дерновые почвы, обра-

зованные на аллювиально-пролювиальных отложениях. Здесь получили распространение горно-таежные листовенные геомы оптимального развития. Однако преимущественно южная экспозиция предгорий обусловила значительное распространение на их склонах сосновых лесов, что позволило выделить сосново-лиственничный класс фаций, в структуре которого в силу влияния антропогенного фактора повсеместное распространение получили трансформированные хвойно-мелколиственные комплексы.

Непосредственно в пределах котловины плоские поверхности зон современного тектонического опускания и их неполная компенсация осадками способствовали образованию уникального ландшафтного комплекса, сформированного болотами, озеровидными расширениями русел, а также многоозериями [Щетников, Уфимцев, 2004]. Согласно карте «Ландшафты юга Восточной Сибири» [Михеев, 1977] обозначенные территории находятся в области распространения подгорных и межгорных понижений подтаежных лугово-степных геомов, которые составляет лугово-болотный класс фаций на лугово-черноземных и торфянисто-перегнойно-глеевых почвах.

Наряду с естественным ходом развития геосистем на формирование ландшафтной структуры оказывает влияние осуществление хозяйственной деятельности, что выразилось в образовании селитебных комплексов и расширении коммуникационно-транспортной инфраструктуры, сведении лесов под сельскохозяйственные угодья, увеличении площади производных мелколиственных лесов.

Вышеперечисленные основные ландшафтные комплексы ключевого участка в той или иной степени подверглись воздействию от прошедшего паводка и схода селевых потоков. Высокогорный рельеф хребта Тункинские Гольцы, на склонах которого за летний период выпадает до 72 % годовой нормы осадков, создает идеальные условия для формирования селей, местом зарождения которых являются кары, выполняющие роль коллекторов сбора выпавших осадков. 28 июня 2014 г. ливневые осадки насытили водой склоновые отложения, которые, потеряв сцепление, пришли в движение. Грязекаменная масса начала спускаться из распадков временных и постоянных водотоков, вовлекая в движение пролювиально-аллювиальные отложения, а также древесную растительность, произрастающую в долинах.

Водонасыщенные отложения склонов и днищ каров сошли по глубоковрезанным долинам рек Артемьева, Первой и Второй Шихтолайки, Харимты, Малой Харимты и трех безымянных ручьям. В пределах слабонаклонной поверхности Тункинской котловины селевые грязекаменные потоки, снизив скорость, остановились, не дойдя нескольких сот метров до пос. Аршан. Исключением стал сошедший по долине р. Второй Шихтолайки сел, который достиг северо-восточной части поселка, повредив строения микрорайона и корпуса находящегося рядом центра медицинской реабилитации «Сагаан-Дали». Также достигли пос. Аршан грязекаменные отложения, снесенные водным потоком по долине безымянного ручья, который берет начало из второго кара Тункинских Гольцов.

Значительные изменения в природную картину внесли также наносоводные потоки, транзит и аккумуляция которых связаны как с природными (долины рек, ложбины стока), так и антропогенными (дороги, сельскохозяйственные угодья) объектами. Слоем песчано-глинистых отложений до нескольких десятков сантиметров покрыта долина р. Кынгарги, которая принесла основной объем паводковых вод в пос. Аршан. Мощный поток воды вызвал абразию берегов и днища речной долины, вследствие чего в массовом количестве в движение были вовлечены вывороченные с корнями деревья и кустарники, сформировавшие многочисленные завалы. В ряде мест отложился супесчаный материал мощностью до 45 см.

Принимая во внимание опыт коллег в области зонирования и картографирования селевых потоков [Ступин, Пластинин, Сыренов, 2015; Characteristics of clustering ... , 2013; Sattle, 2016; Approaches to shallow ... , 2012], при картографировании ландшафтной структуры ключевого участка мы выделили геосистемы, нарушенные сходом селевых потоков. С учетом специфики условий формирования морфодинамических селевых зон в высокогорной части Тункинских Гольцов обозначены зоны зарождения и транзита грязекаменных потоков, в пределах переходной зоны от днищ котловины к горам – зоны транзита водогрязевых потоков и аккумуляции влекомых валунных наносов, на пологих склонах собственно Тункинской котловины – зоны транзита и аккумуляции взвешенных песчано-глинистых наносов.

Обсуждение результатов

Проведен анализ произошедших ландшафтных трансформаций в затронутых селевыми потоками геосистемах. В высокогорной зоне Тункинских Гольцов, представленной узкими скалистыми гребнями и пиками, которые разделены глубокими цирками, карами и троговыми долинами, пространство получили ложбинные крупноглыбовые комплексы, образованные оползнями-сплывами. Их сход в результате ливневых осадков 28 июня 2014 г. стал причиной трансформации в гольцовой зоне каменистых пустошей с мохово-лишайниковыми тундрами, а в подгольцовой – листовеннично-кедровых редколесий с дриадово-кобрезиевым травяным покровом.

При анализе лесотаксационных материалов конца XX в. выявлено широкое распространение в долинах горных рек глыбовых и валунно-галечных отложений, указывающих на их аккумуляцию в результате проявления гравитационных процессов, в том числе селевых. Учитывая масштабы распространения последних сошедших селевых потоков, в глубоковрезанных речных долинах высокогорий выделили зоны зарождения и транзита грязекаменных потоков, а также зону аккумуляции валунных наносов, уничтожившие сосново-лиственничные с елью и кедром кустарничково-зеленомошные леса.

В пределах переходной зоны от днища котловины к горам сошедшие селевые потоки внесли наиболее масштабные изменения в ландшафтную структуру. Краевые части котловины вдоль подножий хр. Тункинские Гольцы представляют собой слившиеся воедино древние конусы выноса селей и характеризуются наклонной поверхностью, крутизна которой достигает

8–10°, постепенно уменьшаясь вглубь озерно-аккумулятивной равнины [Логачев, Галкин, Голдырев, 1974]. В долинах, врез которых достигает 10–20 м, преобладает грубообломочный материал – валунники и галечники. После последнего селевого события в ландшафтной структуре долин среднего и нижнего течений рек Артемьева, Первой и Второй Шихтолайки, Харимты, Малой Харимты и трех безымянных ручьев, берущих начало из первого, второго и четвертого каров хр. Тункинские Гольцы, обособляются зоны транзита водогрязевых потоков и аккумуляции влекомых валунных и древесных наносов.

Наиболее масштабными явились последствия селевого схода по долине р. Второй Шихтолайки – мощность влекомого материала достигла 3–3,5 м; ширина фронтальной части в зоне аккумуляции составила 325 м, уничтожив лиственнично-березово-сосновые с примесью кедра кустарничково-травяные леса (рис. 2, а). Лиственнично-березово-сосновые с примесью ели зеленомошно-кустарничково-травяные леса долины безымянного ручья, берущего начало из второго кара Тункинских Гольцов, были повреждены древесно-каменными наносами, образованными по периметру грязекаменных селевых зон (рис. 2, б). Общая длина прохождения данного селя равняется 5,5 км. Зона зарождения от этого расстояния составила 71, транзита – 11 и аккумуляции – 18 %.

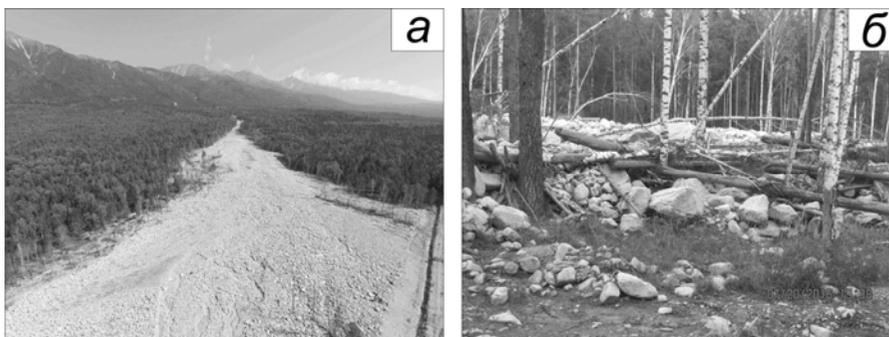


Рис. 2. Зоны аккумуляции влекомых валунных и древесных наносов: а – фронтальная часть грязекаменного селя, сошедшего по р. Второй Шихтолайки; б – древесно-каменные наносы в долине безымянного ручья, берущего начало из второго кара хр. Тункинские Гольцы

В районе контакта с озерно-аллювиальной равниной обособлена зона транзита водогрязевых потоков и аккумуляции взвешенных песчано-глинистых, а также древесных наносов, в область воздействия которой после прохождения последних селевых потоков попали долины рек Кынгарги (рис. 3, а), Харимты и Малой Харимты (рис. 3, б) с распространенными в их пределах лиственнично-елово-сосновыми зеленомошно-кустарничково-травяными лесами. Кроме этого, основными направляющими потоков паводковых вод явились линейные объекты хозяйственной структуры (улицы поселков, автодороги), что привело к подтоплению частных подворий, подмыву дорожного полотна, аккумуляции наносов в лесных массивах и сельскохозяйственных угодьях, прилегающих к автодороге (рис. 3, в).

Наибольшие изменения в результате произошедших катастрофических явлений претерпела флора речных долин – селевые потоки, а также потоки паводковых вод негативно отразились на растительном покрове, уничтожив его на площадях в десятки гектаров. Так, например, в результате создания берегоукрепительных валов в долине р. Кынгарги, в окрестностях с. Тагархай были истреблены долинные комплексы, представленные елово-сосновой растительностью с ивовыми зарослями (рис. 4).

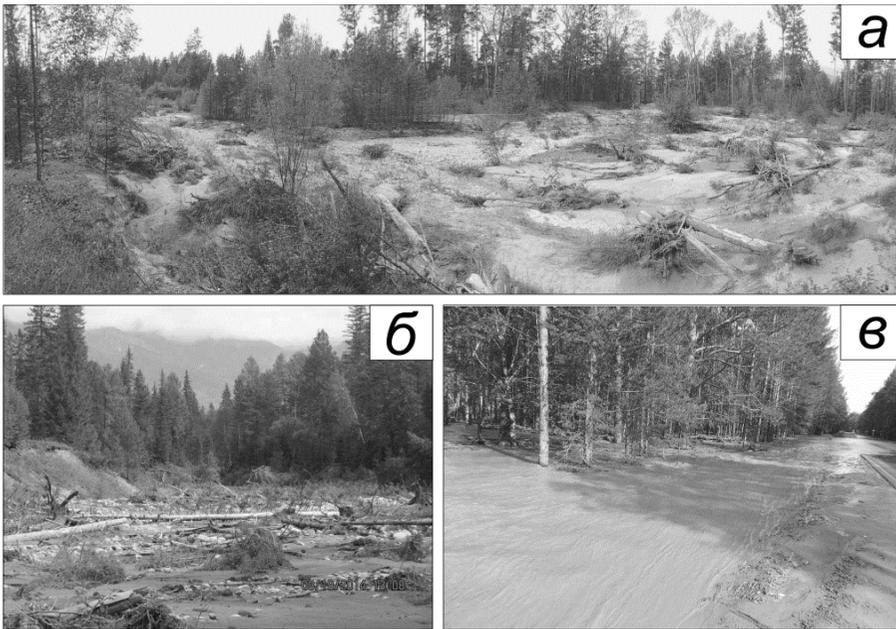


Рис. 3. Зоны аккумуляции песчано-глинистых и древесных наносов в долинах рек после прохождения паводка, спровоцированного ливневыми осадками и сходом селевых потоков 28 июня 2014 г.: *а* – аккумуляция взвешенных песчаных наносов на пойменной террасе левобережья р. Кынгарги; *б* – аккумуляция взвешенных песчано-глинистых, а также древесных наносов в низовьях долины р. Малой Харимты; *в* – поток взвешенных наносов в лесном массиве вдоль автодороги к пос. Аршан



Рис. 4. Селезащитные мероприятия в долине р. Кынгарги в окрестностях с. Тагархай: панорамный снимок БПЛА (*а*), показывающий нарушенность долинных ландшафтных комплексов в результате создания берегоукрепительных валов выше моста через реку (*б*), которые уничтожили елово-сосновые с ивой травяные леса (*в*), сохранившиеся в долине ниже моста (стрелками указаны места, отраженные на врезках *б* и *в*)

Произошедшие изменения, вероятно, будут иметь долговременный характер, поскольку для зарастания древесными породами селевых конусов, сложенных валунно-галечниковым материалом, требуется порядка 100–150 лет [Ступин, Пластинин, Сыренов, 2015]. Однако восстановление травяной и кустарниковой растительности происходит с гораздо более высокой скоростью. Так, например, в долине р. Кынгарги в окрестностях с. Хурай-Хобок спустя два года после паводка наблюдается зарастание 20–40-сантиметрового слоя песчано-глинистых наносов ивой и пятилистником кустарниковым (рис. 5).



Рис. 5. Восстановление ивы и пятилистника кустарникового в составе разнотравно-злаковых групп фаций, нарушенных песчано-глинистыми наносами селевого паводка в долине р. Кынгарги в окрестностях с. Хурай-Хобок: *а* – июнь 2014 г. (до прохождения паводка), *б* – август 2014 г. (спустя два месяца после паводка), *в* – июль 2017 г. (спустя три года после паводка)

Заключение

Функционирование гольцовых, подгольцовых, горно-таежных и подгорных таежных геосистем Тункинской котловины и ее горного обрамления протекает в условиях интенсивного воздействия современных экзогенных процессов, среди которых одним из значимых факторов ландшафтной трансформации являются селевые явления. Их проявление сказывается как на пространственно-временной динамике геосистем, так и в целом на особенностях ландшафтной дифференциации, усиливая ее полиструктурность и полихронность. Сели широко развиты во всех высотно-поясных ландшафтных зонах ключевого участка, чему способствуют значительная вертикальная амплитуда рельефа и высокие показатели крутизны горных склонов, окружающих котловину; кроме этого, на селевую активность оказывает влияние наличие горных рек, обладающих высокой потенциальной энергией.

На основе полевых наблюдений в разных высотно-поясных ландшафтных зонах и дешифрирования космических и современных аэрофотоснимков проведено крупномасштабное ландшафтное картографирование, позволившее отразить пространственные закономерности формирования морфодинамических селевых зон – зарождения, транзита и аккумуляции. Наибольшее их проявление отмечается в руслах рек, берущих начало в высокогорьях Тункинских Гольцов, что становится причиной значительного селевого преобразования долинных ландшафтных комплексов. Особенности восстановительной динамики геосистем, трансформированных селевыми

потоками и паводковыми водами, зависят от конкретных ландшафтных условий – положения в высотной зоне, а также от мощности и характера отложений.

Отмеченные изменения в ландшафтной структуре Тункинской котловины и ее горного обрамления имеют долговременный характер функционирования. Для исследования особенностей восстановления трансформированных ландшафтных комплексов необходимо мониторинговое наблюдение. Целесообразно изучение выделенных селевых зон ввиду того, что увеличение площади незадернованных склонов, сложенных рыхлым и крупноглыбовым материалом, обуславливает потенциальную нестабильность селевых отложений на крутых склонах, что представляет экологическую и экономическую опасность для социально-бытовой инфраструктуры [Петрушина, 2016; Chen, Zhang, Zhang, 2014; Imaizumi, Tsuchiya, Ohsaka, 2015; Advances in debris-flow ... , 2016; Sati, 2007]. Все это определяет необходимость проведения анализа устойчивости территории к катастрофическим явлениям, в том числе с оценкой селеопасности.

Работа выполнена по направлению НИР № 0347-2016-0001 «Экзогенное рельефообразование на юге Сибири в позднем плейстоцене и голоцене» в части № 127 Программы ФНИ государственных академий наук на 2013–2020 гг. «Динамика и механизмы изменения ландшафтов, климата и биосферы в кайнозое, история четвертичного периода».

Список литературы

- Борисова Т. А., Волошин А. Л. Чрезвычайные ситуации природного характера в Байкальском регионе. Сели // Вестн. Бурят. гос. ун-та. 2015. Вып. 4 : Биология, география. С. 50–54.
- Логачев Н. А., Галкин В. И., Голдырев Г. С. Впадины Байкальской системы // Нагорья Прибайкалья и Забайкалья / отв. ред. Н. А. Флоренсов. М. : Наука, 1974. С. 21–56.
- Михеев В. С., Ряшин В. А. Ландшафты юга Восточной Сибири. Карта м-ба 1:1 500 000. М. : ГУГК, 1977.
- Петрушина М. Н. Особенности ландшафтных сукцессий в зонах схода селевых потоков на Северном Кавказе // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита : материалы IV Междунар. конф. (г. Иркутск – пос. Аршан (Респ. Бурятия), 6–10 сент. 2016 г.). Иркутск : Изд-во Ин-та географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2016. С. 199–203.
- Почвенно-географическое районирование СССР (в связи с сельскохозяйственным использованием земель) / отв. ред. П. А. Летунов. М. : Изд-во АН СССР, 1962. 424 с.
- Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск : Наука, 1978. 320 с.
- Ступин В. П., Пластинин Л. А., Сыренов Д. Г. Картографирование и морфодинамический анализ селевых процессов Тункинской котловины // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр., 13–25 апр. 2015 г., Новосибирск : 6-я Междунар. науч. конф. «Раннее предупреждение и управление в кризисных ситуациях в эпоху «Больших данных» : сб. материалов. Новосибирск, 2015. С. 38–42.
- Щетников А. А., Уфимцев Г. Ф. Структура рельефа и новейшая тектоника Тункинского рифта (Юго-Западное Прибайкалье). М. : Науч. мир, 2004. 160 с.
- Characteristics of clustering debris flows in Wenchuan earthquake zone / M. Chao, H. Kaiheng, Z. Qiang, T. Mi // Journal of Mountain Science. 2013. Vol. 10(6). P. 953–961.
- Chen H. X., Zhang L. M., Zhang S. Evolution of debris flow properties and physical interactions in debris-flow mixtures in the Wenchuan earthquake zone // Engineering Geology. 2014. URL: [http://dx.DOI.org/10.1016/j.enggeo.2014.08.004](http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.08.004).
- Imaizumi F., Tsuchiya S., Ohsaka O. Behavior of boulders within a debris flow initiation zone // International Journal of Erosion Control Engineering. 2016. Vol. 9, N 3. P. 91–100.

Advances in debris-flow hazard assessment in mountainous area / S. Jeong, Y. Kim, K. Lee, J. Kim // The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Fukuoka, Japan, 9–13 November 2015). Japan, 2015. P. 1137–1142. DOI: 10.3208/jgssp.ATC1-3-18.

Debris Flows of the Tunkinsky Goltsy Mountains (Tunkinsky District, Republic of Buryatia in Eastern Siberia) / S. Makarov, A. Cherkashina, Zh. Atutova, A. Bardash, N. Voropai, N. Kichigina, B. Mutin, O. Osipova, N. Ukhova // International Journal of Geohazards and Environment. 2016. Vol. 2(3). P. 166–179. DOI: 10.15273/ijge.2016.03.016.

Sati V. P. Environmental impacts of debris flows – A case study of the two debris-flow zones in the Garhwal Himalaya // Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, Chen & Major, eds. Netherlands : Millpress, 2007. P. 715–723. ISBN 978-90-5966-059-5.

Sattler K. Periglacial preconditioning of debris flows in the Southern Alps, New Zealand. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/41338926.pdf>.

Approaches to shallow landslide and debris flow – assessments in Norway / K. Stalsberg, L. Fischer, L. Rubensdotter, K. Sletten // Landslides and Engineered Slopes: Protecting Society through Improved Understanding. London : Taylor & Francis Group, 2012. P. 737–740. ISBN 978-0-415-62123-6.

Landscape Transformation of Geosystems in Zones of Influence of Debris Flows

Zh. V. Atutova, S. A. Makarov

V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk

Abstract. The article focuses attention on the study of landscape transformations caused by the periodic manifestation of debris flows. Their frequency of occurrence in mountains of the South of Eastern Siberia is 16-40 years. The analysis of transformation of geosystems of the Tunkinsky depression as a result of a descent torrential water mud-stone and muddy-debris flows from slopes of highlands of the East Sayan is submitted. The map of the modern landscape structure of the northern part of the Tunkinskaya depression and its mountain frame with reflected complexes of debris flows geosystems formed after the natural disaster of 2014 is presented. In the highland part the zones of origin and transit of mud-stone flows are designated. Within the transition zone from the plain to the mountains the zones of transit of water-mud flows and accumulation of attracted boulder sediments are identified. On the gentle slopes of the depression the zones of transit and accumulation of suspended sandy-argillaceous deposits are designated. The consequences of the descent of debris flows along the channels of many rivers were devastating. The analysis of landscape structure of valleys of these rivers has shown that biotic components of geosystems have undergone the greatest transformation as a result of the occurred catastrophic phenomena. Monitoring observations of the restoration of the destroyed vegetable cover has been started. The data on a metakhronnost of dynamic processes are obtained. The overgrowth of accumulation zones of boulder deposits will take about a hundred years. The restoration of herb-grass meadows with thickets of bushes within the zones of accumulation of sandy-argillaceous deposits occurs at a higher rate.

Keywords: debris flows, morphodynamic debris flows zones, sediment accumulation, landscape structure, transformation, restoration, dynamics of geosystems.

For citation: Atutova Zh.V., Makarov S.A. Landscape Transformation of Geosystems in Zones of Influence of Debris Flows. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2018, vol. 24, pp. 3-16. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.24.3>. (in Russian)

References

Borisova T.A., Voloshin A.L. Chrezvychainye situatsii prirodnogo kharaktera v Baikalskom regione. Seli [Emergency situations of natural character in the Baikal region. Debris flows]. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Buryat State University], 2015, vol. 4. Biologiya, geografiya [Biology, geography], pp. 50-54. (in Russian)

Logachev N.A., Galkin V.I., Goldyrev G.S. Vpadiny Baikal'skoi sistemy [Depressions of the Baikal system]. *Nagoriya Pribajkaliya i Zabajkaliya* [Highlands of the Baikal and Transbaikalia region]. Moscow, Nauka Publ., 1974, pp. 21-56. (in Russian)

Mikheev V.S., Ryashin V.A. *Landshafty yuga Vostochnoi Sibiri. Karta m-ba 1:1 500 000* [Landscapes of the south of Eastern Siberia. Map at a scale of 1:1 500 000]. Moscow, GUGK Publ., 1977. (in Russian)

Petrushina M.N. Osobennosti landshaftnykh suksessii v zonakh skhoda selevykh potokov na Severnom Kavkaze [Features of landscape successions in the areas of debris flow in the North Caucasus]. *Selevye potoki: katastrofy, risk, prognoz, zashchita: Materialy IV Mezhdunarodnoi konferentsii (Rossiya, g. Irkutsk – pos. Arshan (Res-publika Buryatiya), 6-10 sentyabrya 2016 g.)* [Debris flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection: Materials of the IV International Conference (Russia, Irkutsk – Arshan settlement (Republic of Buryatia), September 6-10, 2016)]. Irkutsk, V.B. Sochava Institute of Geography IG SB RAS Publ., 2016, pp. 199-203. (in Russian)

Pochvenno-geograficheskoe rajonirovanie SSSR (v svyazi s sel'skohozjajstvennym ispol'zovaniem zemel') [Soil geographical zoning of the USSR (in connection with agricultural use of lands)], P. A. Letunov. Moscow, AN SSSR Publ., 1962, 424 p. (in Russian)

Sochava V.B. *Vvedenie v uchenie o geosistemakh* [The introduction to the study of the geosystems]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1978, 320 p. (in Russian)

Stupin V.P., Plastinin L.A., Syrenov D.G. Kartografirovaniye i morfodinamicheskij analiz selevykh processov Tunkinskoy kotloviny [Mapping and morphodynamic analysis of debris flows processes in the Tunkinskaya depression]. Interekspo GEO-Sibir-2015. Khl Mezhdunarodnye nauchnyi kongress i vystavka (Novosibirsk, 13-25 aprelya 2015 g.). *6-ya Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya «Ranee preduprezhdenie i upravlenie v krizisnykh situatsiyakh v epokhu «Bolshikh dannykh»: sb. materialov* [Interexpo GEO-Siberia-2015. XI International Scientific Congress and Exhibition (Novosibirsk, April 13-25, 2015). 6th International Scientific Conference «Early warning and management in crisis situations in the era of «Big Data»: Sat. materials]. Novosibirsk, 2015, pp. 38-42. (in Russian)

Shchetnikov A.A., Ufimev G.F. *Struktura rel'efa i noveyshaja tektonika Tunkinskogo rifta (Jugo-Zapadnoe Pribajkalie)* [The structure of the relief and the newest tectonics of the Tunkinsky rift (South-Western Baikal region)]. Moscow, Nauchnyj mir Publ., 2004, 160 p. (in Russian)

Chao M., Kai-heng H., Qiang Z., Mi T. Characteristics of Clustering Debris Flows in Wenchuan Earthquake Zone. *Journal of Mountain Science*, 2013, vol. 10, no. 6, pp. 953–961.

Chen H.X., Zhang L.M., Zhang S. Evolution of Debris Flow Properties and Physical Interactions in Debris-Flow Mixtures in the Wenchuan Earthquake Zone. *Engineering Geology*, 2014. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.08.004>.

Imaizumi F., Tsuchiya S., Ohsaka O. Behavior of Boulders within a Debris Flow Initiation Zone. *International Journal of Erosion Control Engineering*, 2016, vol. 9, no. 3, pp. 91-100.

Jeong S., Kim Y., Lee K., Kim J. Advances in Debris-Flow Hazard Assessment in Mountainous Area. *The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* (Fukuoka, Japan, 9-13 November 2015). Japan, 2015, pp. 1137-1142, DOI: 10.3208/jgssp.ATC1-3-18.

Makarov S., Cherkashina A., Atutova Zh., Bardash A., Voropai N., Kichigina N., Mutin B., Osipova O., Ukhova N. Debris Flows of the Tunkinsky Goltsy Mountains (Tunkinsky District, Republic of Buryatia in Eastern Siberia). *International Journal of Geohazards and Environment*, 2016, vol. 2, no. 3, pp. 166-179, DOI: 10.15273/ijge.2016.03.016.

Sati V.P. Environmental Impacts of Debris Flows – A Case Study of the two Debris-Flow Zones in the Garhwal Himalaya. *Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment*, Chen & Major, eds. Netherlands, Millpress, 2007, pp. 715-723, ISBN 978-90-5966-059-5.

Sattler K. Periglacial preconditioning of debris flows in the Southern Alps, New Zealand. Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/41338926.pdf>.

Stalsberg K., Fischer L., Rubensdotter L., Sletten K. Approaches to Shallow Landslide and Debris Flow – Assessments in Norway. *Landslides and Engineered Slopes: Protecting Society through Improved Understanding*. London, Taylor & Francis Group, 2012, pp. 737-740.

Атутова Жанна Владимировна
кандидат географических наук,
старший научный сотрудник
Институт географии им. В. Б. Сочавы
СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 1
тел.: 8(3952)42-64-22
e-mail: atutova@mail.ru

Atutova Zhanna Vladimirovna
Candidate of Sciences (Geography),
Senior Researcher
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS
1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: 8(3952)42-64-22
e-mail: atutova@mail.ru

Макаров Станислав Александрович
доктор географических наук,
ведущий научный сотрудник
Институт географии им. В. Б. Сочавы
СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 1
тел.: (3952)42-64-22
e-mail: makarov@irigs.irk.ru

Makarov Stanislav Aleksandrovich
Doctor of Sciences (Geography),
Lead Researcher
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS
1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (3952)42-64-22
e-mail: makarov@irigs.irk.ru

Дата поступления: 06.04.2018

Received: April, 06, 2018