

С.А. МАКАРОВ, А.А. ЧЕРКАШИНАИнститут географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, makarov@irigs.irk.ru, anna_cher.87@mail.ru**СЕЛЕВОЙ МОРФОЛИТОГЕНЕЗ
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ САЯНО-БАЙКАЛЬСКОГО СТАНОВОГО НАГОРЬЯ**

Приводятся результаты изучения влекомых и взвешенных наносов, формирующихся при прохождении селей и паводков, в бассейнах малых рек центральной части Саяно-Байкальского станового нагорья. При изучении отложений взвешенных и влекомых наносов, вскрытых разрезами на конусах выноса, определялся возраст селевого события посредством радиоуглеродного датирования органического вещества погребенных почв. В рамках исследования для взвешенных наносов оценивались показатели мутности потока, скорости его движения, расход воды, водородный показатель, общая минерализация воды и селевой суспензии, гранулометрический состав взвешенного вещества. При нормальном и пониженном стоке вода в реках центральной части Саяно-Байкальского станового нагорья прозрачная и чистая. Видимая мутность воды появляется с началом формирования паводка, возникающего вследствие выпадения атмосферных осадков и таяния снега. В исследованных реках величина мутности воды на пике прохождения паводка или селевого потока составляла около 7 тыс. г/м³, максимальная величина мутности не превышала 25 тыс. г/м³ (р. Слюдянка, 1960 г.). Гранулометрический состав взвешенного вещества варьировал от песка пылеватого до супеси тяжелой и суглинка легкого. Проведенные исследования показывают, что взвешенные наносы, наряду с влекомыми, играют существенную роль в формировании аккумулятивных форм рельефа. Особенно это проявляется в нижних частях конусов выноса, где они способны одновременно откладываться в виде мощных, достигающих нескольких метров толщ.

Ключевые слова: водокаменный сель, паводок, взвешенные и влекомые наносы, голоцен, радиоуглеродный возраст, погребенные почвы.

S.A. MAKAROV, A.A. CHERKASHINAV.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
ul. Ulan-Batorskaya, 1, Irkutsk, 664033, Russia, makarov@irigs.irk.ru, anna_cher.87@mail.ru**DEBRIS FLOW MORPHOLITHOGENESIS
IN THE CENTRAL PART OF THE SAYAN-BAIKAL STANOVOI HIGHLANDS**

Presented are the results from studying tractional and suspended load formed during the debris flows and floods within the basins of small rivers in the central part of the Sayan-Baikal Stanovoi Highlands. In studying deposits of suspended and tractional load exposed by profiles on alluvial fans, the age of the debris flow event was determined by radiocarbon dating of organic matter of buried soils. The turbidity of the flow, its speed, water discharge, pH, total mineralization of water and mudflow suspensions, and particle size distribution of suspended matter were estimated for suspended load as part of the research. With a normal and reduced runoff, the water in the rivers of the central part of the Sayan-Baikal Stanovoi Highlands is transparent and clean. Visible turbidity of water appears with the formation of a high water resulting from atmospheric precipitation and snowmelt. In the rivers under investigation, the turbidity at the peak of the flood or debris flow was about 7 thou g/m³, with the maximum turbidity not exceeding 25 thou g/m³ (the Slyudyanka river, 1960). The particle size of suspended matter varied from silt sand to heavy sandy loam and light loam. The research has shown that suspended load, along with tractional load, plays a significant role in the formation of accumulative landforms. This is especially evident in the lower parts of the cones, where they are able to be deposited as layers reaching several meters.

Keywords: water-rock flow, flood, suspended and tractional load, Holocene, radiocarbon dates, buried soils.

ВВЕДЕНИЕ

На горной территории юга Восточной Сибири на протяжении голоцена при определенных сочетаниях природно-климатических условий неоднократно происходили залповые селевые выбросы рыхлого материала, под которыми мы подразумеваем одновременную аккумуляцию слоя рыхлых

отложений (водонасыщенной минеральной массы) в долинах временных и постоянных водотоков, на конусах выноса, продолжающиеся от нескольких часов до нескольких суток. Например, по данным анализа сейсмических записей (короткопериодная сейсмическая станция «Аршан») прохождения катастрофического водокаменного селя 27–29 июня 2014 г. на р. Кынгарге (Республика Бурятия), движение влекомых наносов продолжалось, то ослабевая, то усиливаясь, в течение почти трех суток [1].

В 1980-е гг. для Северного Прибайкалья была разработана модель формирования твердой фазы селей [2, 3]. В ее основе лежит ряд соподчиненных блоков. Первый блок включает группы очагов селевых бассейнов, второй — источники твердой фазы, третий — показатели состава, структуры и свойств пород, четвертый — характеристику динамики склоновых процессов, пятый — прогноз механизма образования, объема, состава и свойств твердой фазы селей. В дальнейшем селевые исследования подтвердили правильность выбранного подхода. Эта разработка по своей сути близка к современному пониманию термина «селевой морфолитогенез» как совокупности процессов и явлений, которые формируют селевые потоки [4]. Условия формирования селей для рассматриваемой территории в целом исследованы сравнительно неплохо, чего нельзя сказать о влекомых и взвешенных наносах, особенно в момент прохождения селевых потоков. Эта ситуация характерна и для других горных территорий России, где формируются селевые потоки.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Саяно-Байкальское становое нагорье — область резких орографических контрастов, широкого распространения ледниковой морфоскульптуры и наивысшей тектонической активности. Образование области связано с байкальским и более ранними циклами складчатости, обусловившими формирование морфоструктурного комплекса Байкальской рифтовой зоны, которая характеризуется системой глубоких внутриконтинентальных впадин и обрамляющих их горных хребтов. В геологическом строении территории участвуют разнообразные по составу и возрасту геологические формации, представленные преимущественно сильно дислоцированными архейскими и протерозойскими метаморфическими сланцами, известняками, кварцитами, гнейсами, широко распространены гранитные интрузии. Днища межгорных котловин сложены мощными толщами третичных и четвертичных отложений.

Сильно расчлененный рельеф и геологическая неоднородность территории обусловили разнообразие геоморфологических процессов. Немаловажную роль среди них играют сели — стремительные русловые потоки, внезапно возникающие в результате выпадения ливневых осадков, характеризующиеся резким подъемом уровня воды, пульсационным движением и значительным эрозионно-аккумулятивным эффектом. По составу селевой массы выделяют грязе- и водокаменные селевые потоки. В пределах исследуемой территории селеносные бассейны небольших горных рек сложены преимущественно кристаллическими породами, в результате чего наиболее часто здесь возникают водокаменные сели. По вещественному составу в них преобладает грубообломочный материал (песчано-гравийный и галечно-валунный), который перемещается в основном в виде влекомых и взвешенных наносов. Приуроченность долин горных рек к таежному поясу обуславливает заметное участие в селевой массе обломков древесной растительности, листовенного и хвойного опада, фрагментов лесных подстилок.

В результате выпадения обильных дождей по долинам горных рек часто проходят паводки, характеризующиеся быстрым, сравнительно кратковременным подъемом уровня воды. Значительное возрастание скорости и расхода водного потока при прохождении паводка сопровождается увеличением мутности воды, переформированием русла, а при благоприятных условиях приводит к зарождению селя. Таким образом, в результате прохождения селевых потоков и паводков формируются аккумулятивные формы рельефа — конусы выноса, сложенные скоплением влекомых и взвешенных наносов. Если влекомые наносы — наиболее крупные (тяжелые) частицы, перемещаемые водным потоком в придонном слое путем волочения и перекатывания, — служат источником формирования донных гряд, валов и кос, то взвешенные наносы в селевом потоке образуют селевую суспензию — смесь воды и взвешенных в ней песчано-глинистых частиц (размером менее 1 мм) [5].

Распространение селевых потоков и частота их проявления на территории Саяно-Байкальского станового нагорья изучены на примере трех районов — Северного Прибайкалья, горного обрамления южной оконечности оз. Байкал, Восточного Саяна. На других, промежуточных горных участках встречаются следы редких, единичных, сравнительно маломощных селей [6–10]. Выделенные районы различаются между собой по зонам аккумуляции селевых отложений.

В Северном Прибайкалье по долинам рек Кунерма, Гоуджекит, Ангаракан селевая масса разгружается преимущественно в русла одноименных рек, оставляя часть твердой фазы селя на конусах выноса. Аналогичная картина наблюдается и в Восточном Саяне в долине р. Иркут, на стыке хребтов Тункинские Гольцы и Мунку-Сардык. Периодическая активизация селевых процессов на южном склоне хр. Тункинские Гольцы, в пределах предгорной наклонной равнины Тункинской котловины, является причиной пространственной неоднородности, полигенетичности и разновозрастности формирующихся здесь почв.

Дифференциация почвенного покрова исследуемой территории во многом определяется литологической неоднородностью пролювиальных отложений конусов выноса, слагающих предгорную равнину. Их петрографический состав отличается большой пестротой. Обломки горных пород имеют разную степень окатанности и не совершенную по размеру сортировку. Для значительной части пролювиального шлейфа характерно смешивание не одинаковых по размеру фракций, поэтому гранулометрический состав обломочного материала от вершины конуса к его подножию изменяется довольно разнообразно. Несмотря на это, с долей условности можно отметить, что для аллювиально-пролювиальных конусов выноса, слагающих предгорную наклонную равнину, характерно проявление концентрической зональности [11] — закономерного распределения различных фракций гранулометрического состава в пределах предгорной равнины.

Четко выделяется вершинная зона конуса выноса, сложенная преимущественно валунно-галечниковыми отложениями. Она представлена системой крупных ложбин стока. При этом лишь немногие из них относятся к временным водотокам. По их руслам водные потоки перемещают и аккумулируют галечно-гравийно-песчаные наносы. В случае формирования преград водотоки смещаются по поверхности конуса, часто фильтруясь в его средних и нижних частях в рыхлые отложения. На слегка наклоненных поверхностях конусов выноса в виде плоских вееров аккумулируются отложения преимущественно песчаного и супесчаного состава. По мере удаления от вершины конуса наблюдается постепенное уменьшение крупности материала: валунно-галечниковые отложения сменяются галечно-гравийными с песчаным заполнителем. Для таких отложений характерны параллельные относительно поверхности конуса наслоения, часто подчеркиваемые линзовидными прослоями песков, супесей и даже суглинков, образующихся в результате спада энергии потока в понижениях дна русел.

В срединной части предгорной равнины русла прирусловые части постоянных и временных водотоков также сложены галечником, гравием и песком, в то время как на участках между водотоками во время селевых паводков оседают более тонкие, в основном супесчаные и легкосуглинистые, взвешенные наносы. Нередко с определенной глубины песчано-супесчаный материал подстилается валунно-галечными отложениями, морфологически аналогичными привершинной части.

В нижней части предгорной равнины и ее подножия формируются наиболее мощные наносы, сложенные супесчано-суглинистым материалом. Мощность наноса, способного одновременно сформироваться на дневной поверхности, местами достигает одного метра и более.

На некоторых участках периферическая зона заходит на 2–3 км на территорию современного погружения, представленную озерно-болотными комплексами, северная часть которых прилегает к подножию предгорной равнины. Оказавшись в условиях затрудненного дренажа, насыщенные взвешенным веществом воды образуют временные мелководные озера, при высыхании которых на поверхности почвы отлагается слой наноса.

Зоны аккумуляции селевых отложений в горном обрамлении южной оконечности Байкала имеют свою специфику: селевые русла, спускающиеся с северных склонов хр. Хамар-Дабан, напрямую выходят в озеро и аккумулируют осадки на подводном береговом склоне.

Следы древней селевой деятельности наиболее четко обнаруживаются при изучении разрезов рыхлых отложений с использованием радиоуглеродного анализа для датировки возраста образования слоев. Очень информативны разбуренные поперечные профили через речные долины.

Проблема достоверной интерпретации генезиса слоев рыхлых отложений, формирующихся вследствие выноса осадков катастрофическими водными потоками, в настоящий момент не решена, так как нет четких критериев их выделения. Одним из основных признаков залпового выноса является стратиграфическое несогласие залегания рыхлых отложений. Термин «залповый выброс», используемый в научной литературе, преимущественно имеет экологический смысл и понимается как единовременное концентрированное поступление значительного количества загрязняющих веществ в окружающую среду. Под залповыми выбросами нами подразумевается единовременная аккумуляция слоя рыхлых отложений (водонасыщенной минеральной массы) в долинах временных и постоянных водотоков, на конусах выноса в течение нескольких часов.

Роль селевых наносов, и в особенности взвешенных, в истории формирования рельефа до сих пор остается слабо изученной. И это несмотря на то, что в горных районах селевые процессы — одни из основных агентов не только денудации, но и аккумуляции продуктов выветривания горных пород. Отдельный селевой поток в небольшом горном бассейне одновременно способен вынести и отложить такой объем материала, какой не может быть накоплен деятельностью обычного водотока, проходящего по тому же руслу, за сотни лет.

На территории России и республик бывшего СССР изучение взвешенных наносов на реках проводилось преимущественно в Средней Азии и на Кавказе, что обусловлено широким распространением в этих районах осадочных пород и высокой мутностью рек в течение годового цикла, особенно в местах формирования гляциальных селей. В Сибири взвешенные наносы изучали в юго-восточной части Республики Алтай, на р. Актру, берущей начало с вершин Северо-Чуйского хребта и имеющей в основном ледниковое питание. Сравнительный анализ результатов наблюдений за стоком взвешенных наносов на реке за последние 50 лет был проведен Д.А. Вершининым с соавт. [12]. Немногочисленность работ, посвященных изучению взвешенных наносов, можно объяснить сложностью получения этих данных, так как, чтобы отобрать образцы из русла, необходимо оказаться в нужном месте во время прохождения потока и в нужное время. Вероятность таких совпадений весьма низка: повторяемость селей в современных природных условиях оценивается в десятки лет.

Изучение водных потоков и взвешенных наносов, сформировавшихся при прохождении селей и паводков, проводилось в бассейнах рек Анамакит (Верхнеангарская котловина, южный склон Верхнеангарского хребта), Кынгарга (Тункинская котловина, южный склон хр. Тункинские Гольцы), Солзан, Безмянная, Утулик, Хара-Мурин, Снежная и руч. Галанский (южная оконечность оз. Байкал, северный склон хр. Хамар-Дабан). При характеристике водных потоков оценивались показатели мутности, скорости движения селевого потока, расход воды и взвешенных наносов, водородный показатель (рН), общая минерализация. При изучении взвешенных наносов проводился анализ гранулометрического состава.

При реконструкции селевой деятельности в позднем плейстоцене и голоцене изучали вскрытые стратиграфические разрезы рыхлых отложений в долинах рек и на конусах выноса временных водотоков. Для определения возраста селевого события применялся сцинтилляционный метод датирования по углероду гуминовых кислот в Санкт-Петербургском государственном университете. Значения календарного возраста приведены на основании калибровочной программы CalPal2007_HULU Кёльнского университета.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Северные отроги хр. Хамар-Дабан на участке побережья Байкала от устья р. Бабхи до устья р. Малая Осиновка прорезают 24 долины рек, ручьев, падей логов. Все они оцениваются как селеносные, поскольку несут следы формирования и прохождения селевых потоков в виде селевых русел, кос, гряд, селевых конусов — как древних, так и современных. Водосборные бассейны располагают значительными объемами рыхлообломочного материала, который может быть вовлечен в селевые потоки. Селевые очаги в виде разнообразных проявлений экзогенных геологических процессов — сплывов, осыпей, обвалов, курумов, боковых конусов выноса, кос, гряд и т. п. — широко распространены в низко- и среднегорной зонах во всех бассейнах.

Интенсивное выветривание пород обеспечивает постоянное пополнение рыхлого материала — от песка, супесей и суглинков до крупноглыбовых фракций. Высокая сейсмичность района наряду со значительным увлажнением и поверхностным стоком способствуют достаточно быстрому движению материала к селевым руслам [13].

Стратиграфические разрезы отложений селевых долин рек Харлахты, Большая и Малая Осиновка, руч. Красный Ключ были получены в процессе изысканий под противоселевые сооружения в конце 1980-х гг. геологами Сибгипробума [14]. По длине водотока реки относятся к самым малым, не превышающим 12,5 км. Наиболее простое (однослойное) геологическое строение на выходе из гор имеет руч. Красный Ключ. Здесь в разрезе присутствуют неокатанные аллювиальные крупнообломочные отложения от дресвяно-щебенистых до глыбово-щебенистых с заполнителем из песка, супеси и суглинка. Максимальная длина участка транспорта обломков интрузивных пород не превышала 3 км, поэтому на них отсутствуют следы окатанности. Аналогичное строение днища долины отмечается и на р. Харлахте, хотя длина водотока в горной части составляет 7,3 км. Усложнение геологического строения наблюдается на р. Малая Осиновка, где поперх неокатанных обломков рыхлой толщи за-

легают валунно-галечниковые отложения мощностью до 8 м, перекрытые с бортов крупноглыбовым делювием. Современное русло реки врезалось и размыло аллювий на глубину 5 м.

По нашему мнению, на границе голоцена начался процесс аккумуляции неокатанных отложений на коренное ложе долин, так как на склонах долин происходил массовый снос делювия.

Следы селевых выбросов, разделенных погребенными почвами, обнаружили в обнажениях карьеров, расположенных на правом берегу в верховьях долины горного участка р. Иркут, на селевых конусах выноса, спускающихся с хр. Мунку-Сардык. Они сложены преимущественно влекомыми отложениями, гранулометрический состав которых варьирует от валунно-галечникового до гравийно-галечникового с песчаным заполнителем. Мощные толщи рыхлого материала в районе исследования сформированы различными комплексами скальных пород, слагающих склоны вершины водоразделов (сланцы, песчаники, прослои известняков, граниты, гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты, мраморы, доломиты). Процессы выветривания приводят к обрушению и осыпанию вниз по склонам неоднородного обломочного материала, представляющего собой твердую фазу селя. Доля взвешенных наносов в пределах исследуемых конусов выноса минимальна, поскольку они выходят непосредственно к руслу р. Иркут и материал уносится потоком воды вниз по течению. Стоит отметить, что практически все постоянные и временные водотоки в пределах исследуемой территории селеносные, при этом наиболее мощные сели проходят по долинам рек. Как правило, селевой материал в таких случаях выбрасывается напрямую в русло р. Иркут.

Изучение разрезов показало, что селевая активность чередовалась с периодами затишья. Пролувияльные отложения разделены слабо развитыми погребенными почвами, представляющими собой грубогумусовые и перегнойно-грубогумусовые горизонты, мощностью от 2 до 20 см, содержащие слабо разложившиеся растительные остатки и древесные угли. В разрезах отмечается до семи циклов селевой активизации в голоцене.

Практически во всех разрезах, заложенных в пределах предгорной равнины, отходящей от Тункинских Гольцов, фиксируются следы селевой активности в виде почвенно-седиментационных серий. Последние представляют собой многократно сменяющиеся с глубиной селевые отложения с образовавшимися на их поверхности в периоды селевого затишья слабо развитыми гумусовыми горизонтами почв, что указывает на систематический характер возникновения селевых потоков [15]. Например, на р. Малая Харимта за последние 600 лет шесть раз проходили селевые выбросы, что установлено по погребенным почвенным горизонтам (рис. 1). Это позволило не только установить периодичность селевых событий, но и зафиксировать смену режимов аккумуляции наносов.

Следует отметить, что соотношение доли взвешенных и влекомых наносов зависит от местоположения в пределах селевых конусов выноса. Так, на участках, расположенных в непосредственной близости к выходу селевого потока из распадков хребта на предгорную равнину, почвенный покров формируется непосредственно на несортированных селевых отложениях, представленных в основном валунно-галечниково-щебенистым (влекомым) материалом с незначительным участием взвешенных наносов. В средней части предгорной равнины роль взвешенных наносов возрастает. Наряду с тем, что русла и прирусловые части постоянных и временных водотоков также сложены галечником, гравием и песком, на участках между водотоками во время селевых паводков оседают более тонкие, преимущественно супесчаные и легкосуглинистые, взвешенные наносы. При этом нередко с различной глубины песчано-супесчаный материал подстилается валунно-галечными отложениями, морфологически аналогичными отлагающимся в верхней части предгорной равнины. В качестве примера приводим разрез, заложенный в средней части предгорной наклонной равнины (правобережье р. Кынгари), в котором на глубине 83–90 см обнаружен буровато-темно-серый перегнойно-грубогумусовый горизонт, залегающий на валунно-галечниковом материале. Радиоуглеродный возраст этой почвы 3670 ± 110 л. н., а календарный — 4020 ± 150 л. н. (ЛУ-7787). Расположенные выше него отложения взвешенных наносов отличаются резкой и многократной сменой гранулометрического состава от легкого суглинка до супеси, иногда с включениями линз крупного песка и гравия, а также гумусированными прослоями. Таким образом, начало формирования отложений взвешенных наносов, выносимых из долин временных водотоков на данном участке, относится к среднему голоцену.

На рассматриваемой территории первые сведения о взвешенных наносах при прохождении селей приведены в работе [16], описывающей катастрофический селевой паводок на р. Слюдянке 20 июня 1960 г. Тогда на пике прохождения селя мутность составляла 25 тыс. г/м³. Последующие данные были получены во время селя 17 июня 1977 г. на р. Анамакит. При средней скорости селевого потока 4 м/с расход воды был равен 160 м³/с, мутность воды — 3328 г/м³, расход взвешенных наносов — 532,48 кг/с (см. таблицу). За 1 ч выносило 1916,9 т взвешенного вещества, а за время прохождения селя, равное



Рис. 1. Почвенно-литологическая толща, представленная серией погребенных слабообразованных почв, перекрытых валунно-галечниковыми отложениями селевых выбросов. Левый берег р. Малой Харимты (51°53'50,7" с. ш., 102°30'34,4" в. д. WGS-84).

В прямоугольниках указан возраст селевого события (радиоуглеродный/календарный (cal BP) возраст образца) и номер образца.

8 ч (считаем, что расход и мутность воды оставались постоянными), вынесло 15 335 т. По данным гранулометрического анализа, во взвешенных наносах преобладали песчаные и пылеватые фракции [9].

На участке Слюдянка–Выдрино 27–28 июня 1980 г. прошли паводки по рекам Безымянная, Утулик, Бабха, Харлахта, Солзан, Хара-Мурин и Снежная. Наиболее высокая мутность воды в реках наблюдалась на участке между Безымянной и Солзаном [13]. Около 22 ч 26 июня начался подъем уровня воды в р. Безымянной. Максимум прохождения паводка приходился на 12–13 ч 27 июня. По данным гидрологического поста [17], за 1980 г. средний расход воды в реке составил 4,39 м³/с, наибольший — 182 м³/с (27.06.1980). По нашим данным, мутность достигла 3844 г/м³ (см. таблицу), расход взвешенных наносов — 743,8 кг/с. В течение 1 ч река пронесла 2678 т взвешенного вещества. Аналогичная метеорологическая обстановка на р. Безымянной складывалась 11–12 июля 1982 г. Мутность воды во время этого паводка была ниже, чем в период паводка 27 июня 1980 г. (см. таблицу).

После описанных событий на территории исследования свыше 30 лет наблюдалось относительное селевое затишье, которое нарушилось 28 июня 2014 г. В пос. Аршан Тункинского района Республики Бурятия в результате интенсивных ливневых осадков сформировались селевые потоки двух типов: водокаменный сель по р. Кынгарге и грязекаменные потоки по долинам, берущим начало в карах южного склона хр. Тункинские Гольцы [18]. В результате прохождения селевых потоков произошло массовое уничтожение и повреждение растительного покрова в пределах предгорной наклонной равнины, примыкающей к хр. Тункинские Гольцы. Современные почвы и подстилающие их валунно-галечные отложения эродировались и вовлекались в движение водными потоками. В течение первых часов после начала формирования селей грязекаменная масса закупорила русла рек Харимты и Малой Харимты в месте их разветвления, и поток воды со взвешенными наносами направился по старому руслу р. Харимты в сторону дер. Хурай-Хобок, где затопил понижения вдоль обочины автодороги.

В нижних частях конуса выноса р. Кынгарги, при резком снижении скорости течения воды, насыщенной взвешенными наносами, они аккумулировались поверх почвенного покрова [18]. Особенно активно их накопление происходило на участке перехода р. Кынгарги в озерно-болотное понижение. В 1960-х гг. на этом участке была сформирована сеть осушительных каналов, построенная для повышения продуктивности сенокосов. В данном месте направление русла реки было искусственно изменено (рис. 2). По этой причине при достижении селевой суспензией данного участка воды выш-

Характеристики взвешенных наносов в водотоках центральной части Саяно-Байкальского станового нагорья

Водоток (местоположение)	Дата и время отбора проб (время местное)	Мутность, г/м ³	Водородный показатель (рН)	Общая минерализа- ция, г/л	Потери при прокалива- нии, %	Гранулометриче- ский состав взве- шенных наносов
<i>Верхнеангарская котловина, южный склон хр. Верхнеангарский</i>						
Анамакит	17.06.1977	3328	—	—	9,26	Песок пылеватый
<i>Южная оконечность котловины оз. Байкал, северный склон хр. Хамар-Дабан</i>						
Безымянная	27.06.1980 (12:00)	3844	—	—	7,57	—
	27.06.1980 (19:00)	2135	—	—	3,07	—
	28.06.1980 (9:35)	1765	—	—	2,56	—
Галанский	27.06.1980 (14:00)	1745	—	—	9,84	—
Утулик	27.06.1980 (14:30)	4745	—	—	5,38	—
	28.06.1980 (11:05)	2364	—	—	10,68	—
Солзан	27.06.1980 (15:22)	1566	—	—	7,17	—
Хара-Мурин	27.06.1980 (16:00)	699	—	—	7,08	—
	28.06.1980 (12:45)	123	—	—	—	—
Снежная	27.06.1980 (16:25)	671	—	—	9,58	—
Безымянная	12.07.1982 (2:20)	875	—	—	6,76	—
	12.07.1982 (8:20)	2990	—	—	2,90	—
	12.07.1982 (13:10)	2860	—	—	2,55	—
	12.07.1982 (17:50)	2190	—	—	3,03	—
	13.07.1982 (22:25)	230	—	—	3,33	—
<i>Тункинская котловина, южный склон хр. Тункинские Гольцы</i>						
Кынгарга (мост)	14.07.2015 (10:24)	7017	8,0	0,148	—	Суглинок легкий пылеватый
	14.07.2015 (12:22)	5958	7,8	0,224	—	Супесь тяжелая пылеватая
	14.07.2015 (19:07)	3582	7,8	0,160	—	Супесь тяжелая
	15.07.2015 (11:33)	531	7,5	0,176	—	—
Ручей из 1-го кара (выше курорта Аршан)	14.07.2015 (14:29)	90	7,7	0,062	—	—
Водоотводной канал (пос. Аршан)	14.07.2015 (14:43)	9598	7,7	0,20	—	Суглинок легкий пылеватый
Новое русло р. Харимта (дер. Хурай-Хобок)	14.07.2015 (15:05)	697	7,9	0,134	—	—

Примечание. Прочерк — показатели не определялись.

ли из узких берегов реки, закупорили русло и образовали временные водоемы. Впоследствии произошло осаждение взвешенных наносов и формирование отложений мощностью до 2 м.

Спустя год после прохождения катастрофических селевых потоков в районе пос. Аршан, 14 июля 2015 г., на р. Кынгарге рано утром сформировался водный паводок, перешедший в селевой, который плавно трансформировался в водокаменный сель (рис. 3). Всю ночь с 13 на 14 июля 2015 г. выпадали дождевые осадки, то усиливаясь, то ослабевая. На максимуме прохождения водокаменного селя (к 11 ч) на р. Кынгарге в основном наблюдалась донная эрозия, а за счет береговой происходил небольшой размыв берегов. Вода стала заплескиваться на полотно временного автомобильного моста. К этому моменту дождевые осадки начали стихать, и уровень воды постепенно снижался со скоростью не более 10 см/ч на пике подъема воды. В течение всего времени прохождения селя на реке стоял грохот от перекатываемых по дну камней. Скорость водного потока не превышала 4 м/с.

Одновременно с паводком по р. Кынгарге из каров, венчающих гребневую линию хр. Тункинские Гольцы, по направлению к пос. Аршан начали выходить ручьи. Они спустились на левобережную часть поселка, пройдя по ул. Тракторной и частично разгрузившись в водоотводной канал. С прекращением дождя к вечеру ручьи иссякли, оставив после себя следы от взвешенных наносов.

Как и в 2014 г., поток воды со взвешенными наносами направился по новому руслу р. Харимты в сторону дер. Хурай-Хобок, где в очередной раз затопил понижения вдоль обочины автодороги.

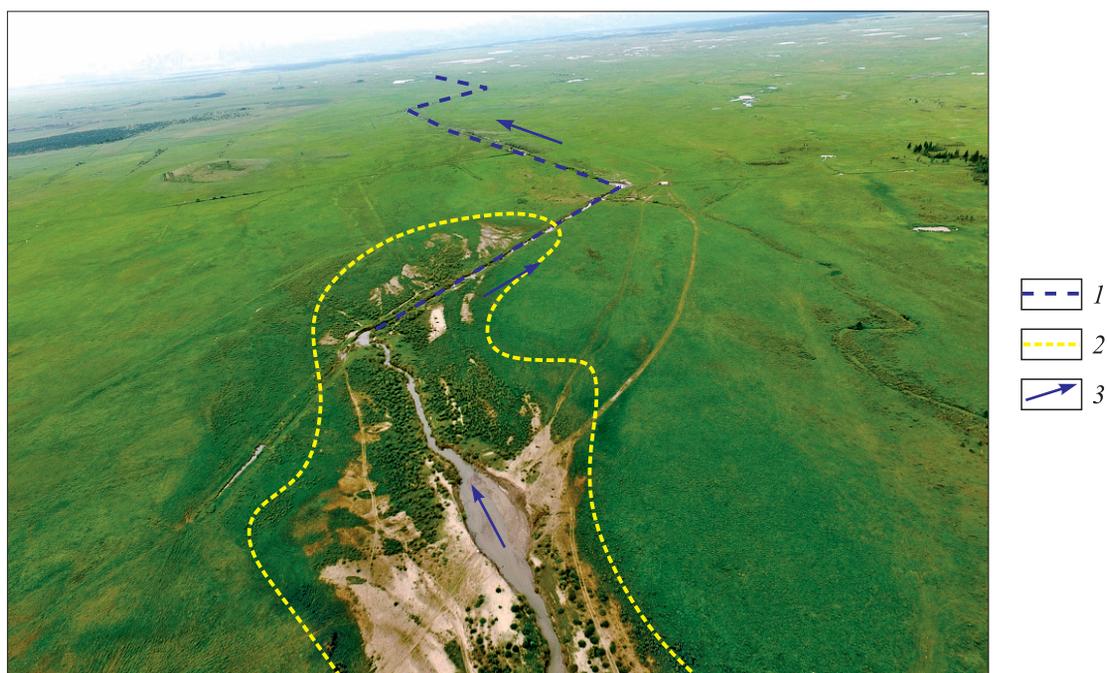


Рис. 2. Зона аккумуляции взвешенных наносов на р. Кынгарге в месте ее перехода в искусственное русло. Съемка выполнена 12 июля 2017 г. с квадрокоптера Phantom 3, высота съемки — 234 м (51°51'5,36" с. ш., 102°27'20,09" в. д.).

1 — граница аккумуляция взвешенных наносов; 2 — искусственное русло; 3 — направление реки.



Рис. 3. Водокаменный сель на р. Кынгарге на максимуме пика 14 июля 2015 г. в 11 ч 25 мин.

В настоящее время гидрологический пост на р. Кынгарге отсутствует. Для определения количества взвешенных наносов и их показателей в водотоках были отобраны пробы воды (см. таблицу). Для того чтобы приблизительно рассчитать количество переносимого взвешенного вещества на пике прохождения водокаменного селя, расход приняли равным $90 \text{ м}^3/\text{с}$, что ниже расхода воды, фиксировавшегося на р. Кынгарге во время прохождения водокаменных селей в 1962 и 1971 гг. [19, 20]. За величину мутности приняли $7017 \text{ г}/\text{м}^3$ (см. таблицу). За 1 ч ориентировочно переносило около 2300 т взвешенного вещества. Отмечался резкий подъем мутности на пике и ее плавный спад в течение суток. За это время концентрация взвешенных наносов уменьшилась в 13 раз.

Водородный показатель отобранных вод был слабощелочной с тенденцией к повышению кислотности к концу прохождения водокаменного селя (см. таблицу). Общая минерализация, по всей видимости, зависела от того, какие отложения размывались, поэтому четких закономерностей не наблюдалось.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На исследованной территории в течение всего периода голоцена селевая активность сменялась затишьем и образованием поверх пролювиальных толщ почв. Из-за частого перекрытия их поверхности селевыми отложениями полноразвитые почвы с системой оформленных генетических горизонтов не успевали формироваться, поэтому вскрытые разрезами погребенные почвы слаборазвитые и представлены только гумусовыми горизонтами.

Аккумуляция взвешенных наносов на предгорной наклонной равнине в Тункинской впадине началась с середины голоцена. Мощность сформированных отложений за этот период составила около 1 м. В случае, когда селевые и паводковые русла рек напрямую выходят в оз. Байкал (например, притоки на южном побережье озера), взвешенные наносы аккумулируются на подводном склоне.

Взвешенные наносы играют значительную роль в образовании аккумулятивных форм рельефа. Особенно это касается нижних частей пролювиальных конусов выноса, где их мощность может достигать нескольких метров.

Исходный материал для взвешенных наносов — продукты выветривания магматических (граниты, гнейсограниты, сиениты), метаморфических (гнейсы, сланцы, мрамора) и в меньшей степени осадочных (песчаники, алевролиты, доломиты, известняки) пород. Гранулометрический состав взвешенных наносов варьирует от песка пылеватого до супеси тяжелой и суглинка легкого.

Вода в реках центральной части Саяно-Байкальского станового нагорья при нормальном и пониженном стоке прозрачная и чистая. Видимая мутность воды появляется с началом формирования паводка, возникающего вследствие выпадения атмосферных осадков и таяния снега.

На пике прохождения паводка или водокаменного селя за 1 ч реки проносили от 2 до 3 тыс. т взвешенного вещества. Столь близкие значения можно объяснить сходством рассмотренных рек Анамакит, Безымянная и Кынгарга, которые относятся к категории малых рек длиной до 30 км.

Зафиксированная максимальная величина мутности воды при прохождении селевого потока не превышала $25 \text{ тыс. г}/\text{м}^3$ (р. Слюдянка, 1960 г.). При прохождении водокаменного селя на р. Кынгарге 14 июля 2015 г. отмечено изменение водородного показателя воды от слабощелочного к нейтральному.

При резком изменении направления селевого русла (в том числе искусственным путем) происходит снижение скорости потока, которое сопровождается осаждением взвешенных наносов и закупориванием селевого русла. В результате образуются подпрудные озера, при высыхании которых формируются отложения мощностью до 3 м.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (17–29–05064 офи_м).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добрынина А.А., Чечельницкий В.В., Макаров С.А., Черных Е.Н. Катастрофический водокаменный сель на реке Кынгарга (Республика Бурятия) 27–29 июня 2014 г.: сейсмические данные // Вопросы географии и геоэкологии. — 2017. — № 3. — С. 79–82.
2. Рященко Т.Г., Макаров С.А. Формирование твердой составляющей селей в Северном Прибайкалье // Геологические и экологические прогнозы. — Новосибирск: Наука, 1984. — С. 44–50.

3. Riashchenko T., Makarov S. Debris-flow solid-phase formation // Debris-flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment. Proceedings of First International Conference. — New York: ASCE, 1997. — P. 158–164.
4. Ефремов Ю.В. Теоретические основы селевого морфолитогенеза на Западном Кавказе // XXXIV пленум Геоморфологической комиссии РАН. Экзогенные рельефообразующие процессы: результаты исследований в России и странах СНГ. — Волгоград: Изд-во Волгоград. соц.-пед. ун-та, 2014. — С. 23–26.
5. Перов В.Ф. Селевые явления: Терминологический словарь. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2014. — 34 с.
6. Агафонов Б.П. Сели в Байкальской впадине (типизация, распространение, прогноз и влияние на Байкал) // Водные ресурсы. — 1975. — № 3. — С. 95–109.
7. Агафонов Б.П., Макаров С.А. Ареалы селевых потоков в Прибайкалье // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. — 1996. — № 2. — С. 65–71.
8. Makarov S., Agafonov V. Activity of Debris-flow processes in the Baikal region during the recent centuries // Debris-flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment. Proceedings of First International Conference. — New York : ASCE, 1997. — P. 332–339.
9. Агафонов Б.П., Макаров С.А. Активность и распространенность селевых процессов в Северном Прибайкалье по дендрохронологическим данным // Поздний плейстоцен и голоцен юга Восточной Сибири. К XI конгрессу INQUA в СССР. — Новосибирск: Наука, 1982. — С. 101–116.
10. Макаров С.А., Литвин В.М. Геоморфологические и инженерно-геологические условия, опасные экзогенные процессы // Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Территориальное развитие г. Байкальска и его природной зоны. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2003. — С. 53–65.
11. Шанцер Е.В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований: Труды Геол. ин-та АН СССР. — М.: Наука, 1966. — Вып. 161. — 240 с.
12. Вершинин Д.А., Уйманова С.А., Овсянников В.А. Сток взвешенных наносов р. Актру и особенности его режима за последние 50 лет // Вестн. Том. ун-та. — 2014. — № 381. — С. 226–231.
13. Макаров С.А. Сели Прибайкалья. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2012. — 111 с.
14. Макаров С.А. Речные долины юга Восточной Сибири в голоцене. — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2012. — 87 с.
15. Makarov S., Cherkashina A., Atutova Z., 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. — N 2 (3). — P. 166–179.
16. Селевой паводок в г. Слюдянке на Байкале 20 июня 1960 г. / Отв. ред. В.П. Солоненко. — М: Изд-во АН СССР, 1963. — 73 с.
17. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — Т. 7, вып. 2–4. — 390 с.
18. Макаров С.А., Черкашина А.А., Атутова Ж.В., Бардаш А.В., Воропай Н.Н., Кичигина Н.В., Мутин Б.Ф., Осипова О.П. Катастрофические селевые потоки, произошедшие в поселке Аршан Тункинского района Республики Бурятия 28 июня 2014 г. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2014. — 111 с.
19. Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики (за 1971–1975 гг. и весь период наблюдений). Ангаро-Енисейский район. Ангара. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — Т. 16, вып. 2. — 196 с.
20. Ресурсы поверхностных вод СССР. Ангаро-Енисейский район. Ангара. — Л.: Гидрометеиздат, 1972. — Т. 16, вып. 2. — 595 с.

Поступила в редакцию 20 октября 2017 г.