



УДК 551.4:551.243.11 (235.35)

Селеопасность Южного Прибайкалья (на примере бассейна руч. Сухого)

Р. А. Качура (vostsibtisiz@gmail.com), А. С. Куклин,
В. К. Лапердин (Laperdin@crust.irk.ru),
Н. В. Тимофеев (nik.diamond@gmail.com)

Аннотация. На примере бассейна руч. Сухого охарактеризованы факторы, способствующие развитию опасностей и рисков на территории Южного Прибайкалья.

Ключевые слова: факторы, опасности, риски, грунты, сейсмичность, тектоника, геология, осадки, процессы, селевые очаги.

Введение

Бассейн руч. Сухого расположен в северных отрогах хр. Хамар-Дабан, в 4 км восточнее г. Слюдянки.

Территория Южного Прибайкалья в настоящий период интенсивно осваивается, хотя с инженерно-геологических позиций – это узкая прибрежная полоса, где наиболее освоенными площадями являются конусы выноса горных селеактивных рек, сухих долин и временных водотоков. Строительство объектов на конусах выноса заведомо требует защитных мероприятий от селей и паводков, так как недоучет их приводил к неоднократным разрушениям полотна дорог, мостов, жилых домов и других сооружений, в том числе в пос. Сухой Ручей, расположенном в зоне с весьма высокой сейсмической и селевой опасностью.

Основным аргументом представления данного материала в работе является необходимость оценки:

- условий формирования и динамики развития селевых потоков;
- пораженности бассейна руч. Сухого опасными геологическими процессами;
- состояния имеющихся селезащитных мероприятий.

Определяющие факторы формирования селей

1. В ортографическом плане бассейн руч. Сухого расположен на северном склоне хребта Хамар-Дабан, входящего в Байкальскую зону рифта. Бассейн протяженностью 5,6 км, при средней ширине 1,25 км меридианально вытянут от горы Лысой, имеющей абсолютную отметку 1583,4 м, до берега оз. Байкал (абсолютная отметка уреза воды 457,0 м). Перепад высот составляет 1127 м. Продольный профиль в целом вогнут, но имеет

более крутое падение в верхней части и постепенно выволаживается к конусу выноса до $5-7^\circ$. Поперечный профиль долины выше конуса V-образный, а в пределах конуса, на протяжении 2,7–3 км, корытообразный.

Левый – южный склон долины круче ($30-45^\circ$) и расчленен распадками до 6–8 врезов на 1 км длины борта. Правый борт имеет крутизну $20-30^\circ$ и заметно уступает по расчлененности (до 3 врезов на 1 км). На нижней части левого борта долины прослеживается уступ, представляющий скульптурную террасу, высотой от тальвега до его бровки 4–8 м. Относительно прямые борта долины осложнены выступами устойчивых к выветриванию магматических пород. Русло от основания горы Лысой до водопропуска через шоссейную дорогу, заросшее кустарником и молодой лесной порослью, имеет глубину 6–8 м, в верхней части и 3–4 м – в пределах конуса. Средний уклон тальвега основного русла руч. Сухого составляет 0,20 %, а первого снизу, самого крупного правого притока – 0,40 %. В нижней и средней части русла ручья нет постоянного водотока, что оправдывает его название. И лишь в верхней части бассейна имеется несколько ручейков, которые после слияния вскоре теряются под делювиальными отложениями, предположительно, заполняя карстовые полости и по тектоническим нарушениям выходят за пределы бассейна, что может быть подтверждено при характеристике.

Днища боковых распадков и основного русла прорезаны временными водотоками до коренного ложа на глубину 2–4 м. Их продольные профили крутые, ступенчатые, а сухие русла загромождены крупными глыбами, борта осложнены конусами обвалов и оползней-сплывов.

2. В геологическом строении территории бассейна доминирующее положение занимают метаморфические комплексы пород архея и протерозоя, представленные гнейсами, сланцами, мраморами, песчаниками и магматические архей-кайнозойские гранитоидные формации, имеющие различные физико-химические и физико-механические свойства, определяющие различную устойчивость к агентам выветривания.

Выходы гранитоидов в виде останцов встречаются на водоразделе, выступают на склонах и в днищах русел временных водотоков. По физико-механическим свойствам гранитоиды (сиениты, диориты, порфиры и т. д.) относятся к прочным и устойчивым к выветриванию породам (250–50 МПа), но при водонасыщении они теряют прочность на 10–25 % [1]. В местах тектонических нарушений граниты разрушены до щебня, дресвы, песка и тектонической глинки, имеющих место в долине правого нижнего притока руч. Сухого. Скорость выветривания гранитоидной группы пород по данным наших многолетних (более 25 лет) наблюдений находится в пределах 0,02–0,008 мм/год.

Метаморфический комплекс архей – протерозойской группы пород с учетом свойств по отношению к агентам выветривания разделен на две группы. В целом же прочность пород метаморфического комплекса в естественном состоянии находится в пределах 100–300 МПа. Породы этого

комплекса устойчивы по отношению к агентам выветривания и имеют скорость разрушения от 0,1034 до 0,009 мм/год.

В бассейне в первую группу объединены породы Слюдянской серии, которые в основном представлены мраморами чистого состава, но иногда с включениями линз и прослоев кварцитов или кварцево-диопсидово-амфиболовых пород. При выветривании мраморов большую роль играет карстовая денудация, которая создает в них различные полости, ниши и т. п. Выветриваясь, породы распадаются или на очень мелкие фракции – дресву, щебенку или на крупные глыбы. Об этом свидетельствуют развалы глыб на склонах и валунов на конусе выноса, величина которых составляет 2,5 x 3 м.

В следующую группу включены биотитово-гранатовые гнейсы и пироксено-амфиболитовые сланцы, которые за счет рассланцованности и высокой тектонической трещиноватости поддаются интенсивному выветриванию и распадаются на различные по величине фракции с постепенным переходом от крупных глыб до щебня и дресвы.

На фоне дезинтеграции разнообразных комплексов коренных пород рыхлые грунты имеют широкий спектр геолого-генетических и возрастных групп, отличающихся механическим составом и инженерно-реологическими свойствами (сыпучими, пльвунными и т. д.). Мощность рыхлых отложений на склонах долины находится в пределах 0,1–10 м, по грансоставу грунты неоднородны. При их физико-механических характеристиках наблюдается признак тиксотропности пород песчаного и дресвяно-песчаного материала. Эти свойства позволяют отнести их к пльвунам первого типа, способных переходить в разжиженное состояние при воздействии фильтрационного потока, а суглинки и супеси относятся к пльвунам второго типа с тиксотропно-дилатантными свойствами, т. е. они способны переходить в пльвунное состояние при сейсмических воздействиях. Для этих же образцов наблюдается уменьшение угла естественного откоса грунта под водой (на 7–10 град.). В основной массе, в условиях превосходства денудации над осадконакоплением преобладает грубообломочный материал (глыбы, щебень, дресва) – на склонах и полуокатанные глыбы, песок с незначительным содержанием пылеватых и глинистых фракций – в пределах конуса выноса.

Характерной особенностью транзитной части русел руч. Сухого и его притоков является почти полное отсутствие каких-либо отложений, кроме крупных до 2,5 м в диаметре одиночных глыб. Днища их промыты до коренных пород и представляют каскады уступов и перепадов высотой до 2–4 м, что способствует быстрому скоплению и добеганию выпавших осадков в летний период. Но все это характерно для нижней и средней части бассейна. В верхней же части бассейна имеется два активно развивающихся эрозионных вреза.

Отличительной особенностью от близлежащих бассейнов р. Слюдянки и руч. Голланского является отсутствие типичных в целом для всей горной части юга Восточной Сибири «открытых» курумных полей. Хотя на

склонах долины, особенно на их восточной экспозиции, скопления крупно-глыбового материала (в виде «погребенных» курумов) прослеживаются подо мхом, гумусным слоем, заросших лесной и кустарниковой растительностью. В естественных условиях этот материал малоподвижен. Его поступление в русло и вовлечение в селевые потоки возможно на многих участках, где происходит подрезка склонов временными водотоками. Одна из особенностей бассейна состоит в том, что на крутых склонах глыбовый материал перемешан с суглинисто- или супесчано-дресвяной массой, может приобретать подвижность при переувлажнении дисперсной составляющей. В таком случае движение грунтовой массы приобретает характер оползня-сплыва. Следы таких явлений в виде задернованных широких ложбин с редким лесом отмечены на правом склоне долины ручья выше устья правого нижнего притока на участке протяженностью до 0,7 км. Образование этих форм произошло 70–90 лет назад, а вынесенный материал у основания склона образует неясные, задернованные сглаженные бугры.

Набор формаций коренных пород и комплексов рыхлых отложений (коллювиальных, делювиально-пролювиальных и аллювиальных) предопределяют развитие водокаменных и грязекаменных селей в долине руч. Сухого и его притоков.

3. Сейсмотектонические условия развития территории создали благоприятную обстановку для формирования и широкого распространения экзогеодинамических процессов и определили прогрессирующую направленность образования селей.

Важнейшей особенностью тектонического фактора в развитии селей является интенсификация разнонаправленных движений хр. Хамар-Дабан и чаши южной котловины оз. Байкал в современную эпоху, обуславливающая возрастание энергии рельефа и эрозии, о чем свидетельствует врезанное русло руч. Сухого на глубину 5–7 м, на конусе выноса, до коренных пород. Подобное явление наблюдается и на конусах выноса боковых притоков.

Естественно, что любые перемещения блоков земной коры сопровождаются раздробленностью пород по зонам разломов. Система активизированных разломов в бассейне выражена в рельефе в виде седловин, асимметричных рвов, затянутых делювием и зон повышенной трещиноватости. По одному из таких разломов произошло формирование долины нижнего правого притока руч. Сухого, представляющего наиболее селеактивный и селеопасный приток в бассейне. Практически по разломам и дезинтегрированным зонам происходит расчленение склонов бассейна и созданы условия для развития новых эрозионных врезов.

Высокая сейсмическая активность стимулирует развитие селеформирующих процессов. Устойчивость рыхлообломочного материала на склонах при различной величине сотрясаемости зависит не только от силы землетрясений (хотя это основной показатель), но и от крутизны, высоты, экспозиции и расчлененности склонов, а также – мощности рыхлых грунтов, их увлажненности, сыпучести, вязкости и мерзлотных особенностей.

Преобладание кристаллических пород в бассейне ручья и глубокое сезонное промерзание создают благоприятные условия для слабого затухания сейсмических волн на протяжении 7–8 месяцев в году. При оттаивании льда, связующего раздробленные коренные породы и рыхлые отложения, сейсмическая устойчивость на склонах заметно снижается. Поэтому роль сезонного аспекта землетрясений существенно влияет на интенсивность селеформирующих процессов и зависит от времени года. Например, движение дисперсных образований при увлажнении дождевыми или талыми водами может произойти при землетрясениях силой IV–V баллов особенно в период установления максимального оттаивания грунтов, что приводит к формированию оползней-спывов и, как следствие, – селей.

В настоящее время территория южной оконечности озера переживает период сейсмической активности, где наличие глубинных разломов определяют участки с повышенной сейсмической опасностью. Часто эпицентры сильных сейсмических событий связаны с крупными глубинными разломами, что подтверждается землетрясениями интенсивностью 7–10 баллов (здесь и далее по шкале MSK-64).

О высоком сейсмическом потенциале территории южной депрессии озера свидетельствуют данные о более чем 50 зарегистрированных только в XX в. землетрясений, силой в 6–8 баллов. Отметим, что ранее сильные сейсмические события были отмечены 27 июня 1742 г., $M \sim 7,7$; 24 октября 1769 г., $M \sim 7,3$; 1 августа 1779 г., $M \sim 6,6$; 11 апреля 1902 г., $M \sim 6,6$ [2], а также – в 1950, 1953, 1957, 1961 гг. и 25 февраля 1999 г. Южно-Байкальское землетрясение $M_w = 6,0$ [3]. Сейсмическая активность связана с тектоническими процессами, протекающими здесь начиная с позднего кайнозоя [4].

В XXI в. 27 августа 2008 г. в 10 ч 35 мин местного времени на юге Байкала было зафиксировано сильное землетрясение, получившее название Култукское, из-за больших разрушений в пос. Култук. Хотя ближе к эпицентру располагались города Слюдянка, Байкальск и пос. Сухой Ручей.

Это сейсмическое событие стало сильнейшим в Южном Прибайкалье за прошедшие последние 50 лет. Магнитуда землетрясения составляла ($M_w = 6,2$, $K = 15,2$), интенсивность сейсмических сотрясений в эпицентре достигала 7–8 баллов. Землетрясение ощущалось на территории Восточной Сибири с запада на восток от г. Красноярска до г. Читы и с севера на юг от г. Северобайкальска до Улан-Батора, в Монголии. Во время землетрясения на бортах склонов и особенно подрезанных железнодорожными и автодорожными выемками наблюдались обвалы и смещения отдельных глыб. Общий ущерб от землетрясения в районах Южного Прибайкалья предварительно был оценен в 250 млн руб., значительная часть которых потребовалась на восстановление массовых повреждений печей в частных домах.

Расположение эпицентра землетрясения находится в пределах юго-западного борта южной впадины Байкальского рифта, где по наклонным плоскостям разлома Обручева и ветви разрывов субширотного направления юго-восточной части Главного Саянского разлома, имевшего следы

сейсмической активизации в прошлом, произошли подвижки типа сброса – сдвига. Гипоцентр Култукского землетрясения, согласно данным, определенным сейсмологической службой, располагался на глубине 16 км в пределах средней части земной коры (нижняя граница их распределения находится на глубине 25 км), представляющей активную зону глубин гипоцентров землетрясений, происходящих в южной котловине Байкала [5, 6].

К особенностям природы развития опасных процессов во время основного толчка Култукского землетрясения на данном участке следует отнести трещины, возникшие на насыпи железной дороги и многочисленные обвалы, камнепады, образовавшиеся на бортах полувыемок, а также на естественных обнажениях, в бассейнах рек хребтов Хамар-Дабан и Приморский.

Во время Култукского землетрясения над гипоцентром в акватории озера образовались стоячие волны с амплитудой в 3–4 м. Со слов рыбаков, оказавшихся в гипоцентре, «моторная лодка на возникших волнах становилась почти вертикально, волнение продолжалось в течение нескольких минут». Подобные эффекты на Байкале были отмечены в путевых записках Гарина-Михайловского, переправившегося через озеро в 1898 г.: «Много ждали от Байкальского озера – говорят о его бурях, таинственных волнениях без ветра, объясняя их вулканическими или другими подземными причинами...». Очевидно, с нестандартной ситуацией на воде сталкивались многие поколения людей, чьи судьбы были связаны с Байкалом.

По поводу вопроса, можно ли было предсказать Култукское землетрясение, еще В. П. Солоненко не один раз говорил «предвидеть можно, но предсказать нет». По мнению Санькова В. А и др. [7], а также Задониной Н. В. [8], имеющийся материал по сейсмическим событиям показывает, что в регионе сильные землетрясения возникают с периодичностью в 50–60 лет и ближайшая активизация сейсмического процесса может ожидаться в 2009–2015 гг. Култукское землетрясение является началом в череде будущих сейсмических событий и уже внесло свою «лепту» в накопление селевых очагов и в том числе в бассейне руч. Сухого.

Эпизодически возникающие землетрясения способствуют формированию селей, связанных с обвалами, обрушениями, сбросообвалами, с оползнями – по напластованию коренных пород и оползнями-сплывами, а в зимне-весенний период – массовому сходу снежных и снего-каменных лавин, часто перемешанных с древесной растительностью. По нашим наблюдениям, в общей массе конусов лавин объем камней и деревьев иногда составляет до 40 %. Естественно, что при благоприятных условиях эта снего-древесно-каменная масса, перегородив русла селеактивных рек, является причиной формирования селей. Таким образом, удельная роль сейсмического фактора заключается в накоплении твердой фазы селей и создании запрудных озер в руслах селеактивных рек, повышающих уровень опасности для всей инфраструктуры Слюдянского района, на участке побережья от порта Байкал до г. Байкальска, где необходима своевременная защита как со стороны гор, так и со стороны озера (рис. 1).

4. Климатическим условиям отводится ведущая роль в формировании селей в Южном Прибайкалье, определяющим образование и подготовку селевых очагов и жидкой составляющей селевых потоков.

В целом резкоконтинентальный климат хр. Хамар-Дабан испытывает определенное смягчающее влияние водной массы Байкала в прибрежной зоне. По многолетним наблюдениям гидрометслужбы среднегодовая температура воздуха в районе колеблется в пределах $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Слюдянка), $-1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Хамар-Дабан), $-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Выдрино), $-0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Танхой) (табл. 1).



Рис. 1. Поднятие уровня воды в оз. Байкал в 1971 г. активизировало абразию берегов

Таблица 1

Среднемесячные среднегодовые и экстремальные температуры воздуха, °С

Месяц	Слюдянка			Хамар-Дабан			Выдрино		
	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.	макс.
Январь	-13,0	0,4	-25,0	-12,0	0,3	-21,5	-13,4	-1,1	-33,4
Февраль	-11,0	6,3	-27,0	-13,0	0,4	-28,8	-13,2	5,5	-35,5
Март	-7,9	8,3	-20,8	-9,4	8,9	-22,7	-9,7	7,4	-28,2
Апрель	0,5	14,9	-13,7	-3,1	12,7	-18,5	0,6	18,2	-17,0
Май	8,4	25,0	-3,5	7,8	23,6	-10,6	8,7	29,3	-5,2
Июнь	12,7	23,9	1,3	9,5	26,1	-6,0	12,3	28,7	-3,3
Июль	16,8	27,2	7,5	13,0	24,4	4,1	15,9	27,5	3,2
Август	14,4	26,2	2,2	11,1	29,6	-1,6	14,7	24,7	1,5
Сентябрь	8,3	21,7	-3,0	4,4	21,6	-9,5	8,2	23,0	-2,7
Октябрь	1,2	8,4	-9,7	-2,6	17,2	-18,7	2,6	10,2	12,3
Ноябрь	-10,2	8,0	-21,5	-14,4	4,8	-25,8	-8,8	7,0	-20,2
Декабрь	-9,7	2,6	-24,1	-11,4	2,6	-26,2	-8,0	1,7	-22,2

Амплитуда годовых колебаний температуры воздуха составляет: по метеостанции Слюдянка – 66 °С, Хамар-Дабан – 69 °С, Выдрино – 73 °С, Танхой – 72 °С. Безморозный период в среднем составляет 130 суток. Первые заморозки в прибрежной зоне наблюдаются в середине сентября, в горах – в первой половине августа. Последние заморозки по метеостанции Слюдянка наблюдаются в конце мая – начале июня, по – Хамар-Дабан – в конце июня.

В водораздельной части бассейна с наступлением первых заморозков температура почвенного слоя ночью опускается ниже 0 °С, и даже до -15 °С, а днем прогревается до + 10 °С и выше. Число случаев перехода температуры почвы через 0 °С, в вершине ручья колеблется в пределах 130–150 раз в год, что является одним из ведущих факторов морозного выветривания.

Мощность деятельного слоя в бассейне колеблется от 1,5 до 2,0 м и зависит от мощности снежного покрова. Оттаивание сезонной мерзлоты на склонах южной экспозиции начинается в марте-апреле, а на склонах северной экспозиции – с середины мая. Но даже к концу июня мощность протаявшего слоя грунта на склонах южной экспозиции достигает лишь 0,1–0,5 м, а наиболее интенсивное оттаивание грунтов происходит в июле–августе.

Среди гидрометеорологических селеобразующих факторов доминирующее значение принадлежит атмосферным осадкам.

Доля жидких осадков в годовом разрезе 70 % и выше, а в 1934 и 1971 гг. их сумма превысила среднюю годовую норму почти на 20 %. Так, за дождь

с 7 по 11 августа 1934 г. сумма осадков составила (мм): Слюдянка – 133, Выдрино – 291, Танхой – 234 и Хамар-Дабан – 457, а в 1971 г. только за одни сутки на Хамар-Дабане зафиксировано 250 мм, в Утулике – 200, в Байкальске – 197 мм осадков. Характерной особенностью выпавших осадков является возрастание их интенсивности по мере развития ливня.

Обычно многосуточные дожди с интенсивностью 0,01–0,1 мм/мин заканчиваются ливнем с интенсивностью до 1 мм/мин и более. Именно подобные осадки, как правило, вызывают формирование наводнений и селевых потоков на данной территории.

Число дней с осадками более 5 мм за лето составляет 14–18, а количество дней со слоем осадков более 10 мм может быть до 10 (табл. 2).

Основная масса дождей выпадает в июне–августе, а наибольшее месячное количество их приходится на июль. Например, в 1971 г. за год на метеостанции Слюдянка выпало 478 мм, а на Хамар-Дабан – 1625,9 мм (табл. 3).

Для бассейна р. Слюдянки градиент осадков на каждые 100 м высоты в интервале абсолютных отметок 465–850 м составляет 47 мм, в интервале 850–1442 м – 20 мм [9, 10]. Очевидно, этот градиент может быть принят и для бассейна руч. Сухого.

Формирование селевых потоков в Прибайкалье становится возможным после затяжного ненастья, заканчивающегося ливнем, интенсивность которого достигает 2,0 мм/мин и более. Сведений об интенсивности ливневых осадков по бассейну нет, но по метеостанциям Хамар-Дабан, Слюдянка, Танхой были зафиксированы ливни с интенсивностью 3,0 мм/мин и более. Ливневые дожди с интенсивностью 1–2 мм/мин отмечаются почти ежегодно.

Таблица 2

Внутригодовое распределение осадков

Метеостанция	Количество осадков, мм		
	XI–III	IX–X	годовое
Утулик	94	533	627
Хамар-Дабан	150	1159	1443
Слюдянка	35	453	523
Байкальск	224	524	748

Таблица 3

Распределение годового количества осадков по месяцам, мм

Метеостанция	Месяцы года												Годов. сумма
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Хамар-Дабан	22,8	20	71	96,3	84,7	250,1	739	93,3	131,1	34,2	31,1	52,3	1625,9
Слюдянка	13,3	4,7	9,1	3,6	16,9	80,6	223,8	62,3	30,2	12,9	6,7	3,6	477,7
Байкальск	25	4,8	21	28,5	42,4	182	516	79	63,6	26,3	19,9	33,6	1044

	7		3			2	5	2					
--	---	--	---	--	--	---	---	---	--	--	--	--	--

Сумма твердых осадков составляет 5–30 % годовой суммы. В 1996 г. в вершине бассейна первый снег выпал 27 сентября. По данным снегомерных съемок, проведенных нами в бассейне ручья весной 1997 г., средняя высота снежного покрова составила 82 см, а средняя величина запасов влаги – 148 мм. Запасы снега в верхней части бассейна ко времени выпадения летних осадков в июне–июле достаточно велики и являются дополнением в питании жидкой фазы селей.

Среди гидролого-климатических особенностей территории отметим следующие:

- постоянные водотоки во всех частях бассейна руч. Сухого отсутствуют;

- наибольшие зафиксированные при обследовании по меткам уровня высоких вод подъемы временных водотоков составляли 3,1 м, при площади поперечного сечения водопропускного канала около 58 кв. м. Такая величина зафиксирована в районе очистных сооружений рыбозавода, но она вряд ли представляет максимально возможный уровень.

По существующим наблюдениям вероятность выпадения селеформирующих ливневых осадков с суточным количеством 100 мм в среднем составляет один раз в 15 лет, 200 мм и более – один раз в 50 лет. В 1971 г. за 10 дней в бассейне ручья выпало в пределах 250 мм осадков. При этом на реках образовались разрушительные паводки, на реках с малыми водосборами (5–50 кв. км) – сели, на склонах гор – многочисленные оползни-сплывы (рис. 2), трансформировавшиеся в сели.



Рис. 2. На берегу Байкала остатки оползня-сплыва, повредившего железнодорожное полотно, 1971 г.

Но, несмотря на большое количество выпавших осадков в долине руч. Сухого, сформировался лишь паводок с расходом 9 куб. м/с (при расчетной скорости 1,5 м/с). Во время выпадения осадков грунты на склонах были насыщены до предела текучести. В результате, в прирусловой части долины сформировались оползни-сплывы, но для формирования селя, на наш взгляд, было недостаточно его твердой составляющей. В настоящий период этот фактор восполнен за счет неоднократного прохождения селей с боковых притоков, зафиксированных в различных частях бассейна.

Выявлены также основные очаги селеформирования и потенциальные селевые массивы. Самым крупным селеформирующим объектом является селевой конус ручья, имеющий протяженность более 2 км и ширину от 40 до 160 м, подвергающийся размыву на значительном протяжении – до коренного ложа. Поверхность конуса прорезана на глубину до 2–3 м разновозрастными промоинами и рытвинами и осложнена фрагментами разновозрастных селевых гряд и валов, в различной степени размытых более поздними потоками.

Наиболее выраженные следы современной селевой деятельности имеет правый нижний приток ручья, впадающий в головной части основного конуса. Долина притока заложена по зоне разлома, ее склоны интенсивно поражены оползнями и оползнями-сплывами, обвалами. Глубоко врезанное в коренные породы русло представляет лоток для концентрации селевой массы и увеличения ее разрушающей способности. Наличие 2–5-метрового слоя суглинистого и глинистого материала, расположенного на выровненном участке в вершине эрозионного вреза, предопределяет развитие оползней, представляющих основу зарождения селевых потоков. Оползень имеет три достаточно выраженных ступени (до 1 м высотой) и множество небольших суффозионно-термокарстово-гравитационных воронок, вытянутых по трещинам. Общий объем вовлеченной в сползание массы грунта составляет 6000 м³. При выпадении интенсивных осадков вся эта масса в состоянии одновременно сорваться и по мере движения трансформироваться в грязекаменный сел, со стволами (до 3 м в обхвате), кедров, наклоненных в разные стороны. В нижней части стволы и корневая система разорваны. Оползень в данный период представляет наиболее вероятный очаг селеформирования.

К подобным эрозионно-селевым очагам относятся рытвины и лога на северном склоне горы Лысой и на левом борту долины, а также конусы выноса врезов, сконцентрированные в прирусловой зоне.

Сопоставление следов селевых и водных потоков разных периодов и анализ спилов деревьев (табл. 4) позволяют заключить следующее:

Наиболее крупное селепроявление, охватившее весь бассейн руч. Сухого, имело место в 1915 г. (см. табл. 4, образец спила 1), а после 1915 г. дерево было повреждено водным потоком лишь в 1924 г.

Последний водный паводок был в 1971 г., что подтверждается образцами спилов 7–9 (см. табл. 4).

Наиболее вероятным очагом селеформирования 1934 г., когда селевым потоком был разрушен железнодорожный мост, является нижний правый приток. В селевой поток были вовлечены глыбы до двух метров в поперечнике.

Следы селевых потоков этого же периода отмечены по промоинам на северном склоне горы Лысой. Но их отложений ниже по долине не отмечается. Надо полагать, они вынесены более поздними паводками.

В бассейне формируются селевые потоки двух типов – водокаменные и грязекаменные, но те и другие насыщены древесным материалом. Различаются очаги селеформирования двух типов: а) очаги, связанные со скоплениями рыхлообломочного материала в руслах временных водотоков и подпруживанием основного русла выносами этих водотоков; б) очаги, связанные со смещением, сползанием, срывами переувлажненных грунтовых масс со склонов в периоды затяжных дождей. Смещение перенасыщенных влагой грунтов может быть спровоцировано сейсмическими толчками при землетрясениях, если по времени они совпадут с максимальным выпадением осадков и оттаиванием сезонно-мерзлого слоя.

Таблица 4

Ведомость образцов деревьев, взятых на определение времени прохождения селей

№	Место отбора	Порода дерева	Возраст	Время повреждения	Результат анализа
1	Основное русло руч. Сухого	Лиственница	80 лет	1924 г.	На поросли после селя 1915 г., в 1924 г. паводком повредило кору
2	Вершина правого притока. Оползневой цирк	Ольха	18 лет	1988 г.	Дерево было наклонено в результате подвижки оползня
3	То же	Ольха	8 лет	1988 г.	в результате наклона основного ствола на нем выросли вертикальные побеги
4	Сплыв. Правый борт руч. Сухого	Ольха	14 лет	–	Поросль на сплыве имеет один возраст
5	Правый борт руч. Куркавочного	Ольха	19 лет	1984 г.	Дерево в результате сползания грунта было наклонено
6	Правый ручей 200 м от устья	Ольха	20 лет	–	Образец взят в русле, заросшем лесом, возраст которого 18–20 лет
7	Основное русло руч. Сухого	Ольха	18 лет	–	В период 18 лет по руслу наблюдались паводки
8	Основное русло руч. Сухого	Ольха	17 лет	1984 г. 1988 г. 1992 г.	Ствол дерева был трижды поврежден паводками
9	Основное русло руч. Сухого	Тополь	не определялся	1971 г.	Дерево повреждено 25 лет назад на высоте 1,2 м над современным урезом русла

Соответственно в бассейне может формироваться два типа селевых потоков – склоновые и русловые. Склоновые сели приурочены к крутым склонам нижней и центральной части бассейна. Их формирование возможно при выпадении локальных ливневых осадков, охватывающих бассейн, а также интенсивного таяния снега в первой половине лета. Твердая фаза склоновых селей состоит из продуктов, поступающих за счет гравитационно-эрозионных процессов обвалов, осыпи, грунтовых лавин, сплывов, солифлюкции, выносов небольших временных водотоков. Пополнение твердой фазы селей происходит за счет интенсивного физического выветривания коренных пород, выходы которых приурочены к водоразделу. Наличие мелкодисперсного материала на склонах и ослабление его структурных связей за счет водонасыщения являются основными предпосылками зарождения склоновых селевых потоков, начинающихся в большинстве случаев с оползней-сплывов. Такие сели зафиксированы в 1971 г. в рядом расположенных долинах ручьев Голланского и Куркавочного.

Оползни-сплывы представляют разновидность оползней с быстрым смещением водонасыщенного рыхлообломочного материала со склонов, по слою коренных или сезонномерзлых пород, служащих водупором. Глубина захвата грунта зависит от мощности оттаивания накоплений (0,2–2,0 м), а их критическое состояние – от содержания мелкодисперсного материала, обладающего тиксотропными свойствами (табл. 4). Сплывший грунт на правом борту основного ручья в общей массе составил 15–18 тыс. м³ рыхлообломочного материала. Часть крупных обломков и древесной растительности и сейчас находится в русле ручья. Судя по возрасту поросли, как и в других близлежащих долинах (ручьев Куркавочного и Голанского), образовался сплыв во время выпадения осадков в 1971 г. Характерным признаком для всех этих долин явилось то, что сплывы сформировались на склонах северной экспозиции. Сплывшие грунты по составу представляли обломки – от 0,2 до 1,5 м в диаметре (25 %), дресвы (до 35 %), глинистый и песчаный материал (30 %), пылеватые частицы (10 %). Крутизна склонов находится в пределах 18–30 °С.

Подобные оползни-сплывы на ручьях Куркавочном и Голанском стали причиной формирования селей, которые разрушили мостовые переходы на шоссейной дороге и частично на железной дороге (рис. 3).

Процесс формирования склоновых селей возможен как в крутопадающих денудационных ложбинах, не имеющих постоянного поверхностного стока, так и на склонах гор, вообще не имеющих эрозионных форм. В таких случаях сорвавшаяся масса грунта, наращивая скорость, устремляется вниз по склону. Достигнув русла, разжиженный грунт обогащается водой и приобретает типичные черты грязекаменного селя. По мере движения, подрезая склоны, селевая масса вызывает новые оползни-сплывы, которые, вовлекаясь в поток порциями, придают ему пульсирующий характер. Образование склоновых селей в пределах бассейна может иметь локальный характер.



Рис. 3. Остатки моста на федеральной автодороге после прохождения селя. Южное Прибайкалье, 1971 г.

Русловые сели имеют более многообразный механизм зарождения, и диапазон их действия более широк. Именно русловые сели достигают конуса и выносят часть материала в оз. Байкал. Очагами зарождения русловых селей могут быть эрозионно-сдвиговые, рассредоточенные эрозионные очаги, водноаккумулятивные образования русел, террас, конусов выноса временных водотоков. Наполнение рыхлообломочным материалом в руслах происходит за счет выноса материала временными потоками и склоновыми селями.

При сравнении аэрофотоснимков 1937 и 1972 гг. отметим, что на снимках 1937 г. на территории бассейна дешифрируется промытое до коренных пород русло, значительная оголенность склонов и конуса выноса от лесной растительности. На аэрофотоснимках 1972 г. русло, территория конуса и склоны практически полностью заросли древесно-кустарниковой растительностью.

Установлено, что за прошедшее последнее столетие в бассейне руч. Сухого сели высокой интенсивности формировались в 1915 и в 1934 гг. В целом же по региону (северные склоны и отроги хр. Хамар-Дабан) до 1971 г. повторяемость катастрофических селей в среднем составляет 1 раз в 7 лет. Последний высокий водный паводок имел место в бассейне в 1971 г. В настоящий период в бассейне имеются значительные запасы рыхлообломочного материала, которые могут быть вовлечены в селевой поток. Не исключена возможность крупных оползней-сплывов, а также оползней, оползней-обвалов, способных привести к образованию завальных плотин, заторов и т. п. Формирование водной составляющей селей и паводков катастрофического уровня обусловлено возможностью выпадения

ния осадков высокой интенсивности и продолжительности. При годовом количестве осадков от 550 мм в нижнем течении руч. Сухого до 1000 мм в верховьях возможно выпадение затяжных дождей с интенсивностью до 100 мм в сутки и более, общее их количество за дождь может составить 100–400 мм. Даже при меньшей интенсивности осадков (50–100 мм в сутки), но при их совпадении с интенсивным снеготаянием в первой половине лета (когда грунты еще находятся в сезонно-мерзлом состоянии) возможна концентрация стока, достаточная для формирования селя.

Максимальный расход селевого потока 2 и 1 % обеспеченности может составить 33 и 48 м³/с, расход водной составляющей 23–31 м³/с при скорости движения селевого потока 3,9–4,3 м/с [9, 10] (табл. 5).

По данным обследования выявлены следы высшего селевого горизонта (по поперечным профилям) и определена средняя площадь живого сечения (We) потока, датируемого 1915 г., которая составляет 42,9 м², при средней глубине потока 3,1 м. При минимальной для селей скорости потока $Vc = 4,3$ м/с максимальный расход селевой массы в основном русле $Qc = VcWe$, может достигать 184,5 м³/с.

Общий возможный объем селевых выносов за один сель (We) оценен по формуле Д. Л. Соколовского [9, 11]

$$Wc = 1000 H F V m^3,$$

где H – слой осадков, вызвавших паводок (мм), – коэффициент стока. Для бассейна $H = 0,40$, F – площадь водосбора. С учетом расположения расчетного створа принято $F = 4,5$ км², V – объемное содержание наносов в 1 м³ воды (0,1–0,7), принято для расчета равным 0,4.

Расчетный слой осадков H : принят по осредненным величинам различной обеспеченности по трем ближайшим метеостанциям (табл. 6).

Таблица 5

Количественная характеристика бассейна руч. Сухой

Обеспеченность	Модуль стока, л/с км ²	Расход воды селя, м ³ /с	Общий расход селя, м ³ /с	Расход твердого материала селя, м ³ /с	Модуль твердого стока, м ³ /с км	Объем твердой фазы селей, м ³ /м ³	Плотность селевой массы, т/м ³	Скорость селевого потока, м/с	Диаметр валунов, м	Общий вынос материала, тыс. м ³	Вынос материала с 1 км ²	Разовый смыв с площади, мм
Площадь водосбора 4,5 км ² . Длина основного водотока 4,5 км, уклон 0,13°												
10 %	2800	12,9	17,4	3,14	0,68	0,18	1,3	2,6	0,3	10,0	2,16	2,16
5 %	3700	17,2	24,0	4,55	1,0	0,19	1,31	3,4	0,52	15,5	3,4	3,4
2 %	5000	23,0	32,8	6,9	1,5	0,21	1,35	3,9	0,7	25,6	5,6	5,6
1 %	6700	31,0	48,0	10,0	2,2	0,22	1,36	4,3	0,84	34,0	7,4	7,4
0,10 %	10 000	46,0	68,0	15,0	3,26	0,22	1,36	4,7	1,0	50,0	11,0	11,0
0,01 %	12 000	55,0	83,0	19,0	4,15	0,23	1,38	5,2	1,25	74,0	16,0	16,0

Таблица 6

Расчетный слой осадков, мм

Обеспеченность	Пункт наблюдений			
	Слюдянка	Хамар-Дабан	Байкальск	Сухой Ручей
10 %	9,4	19,2	13,0	13,9
1 %	76,5	179,4	98,8	118,2
0,1 %	131,1	305,0	161,0	199,0
Набл. максимум	89,0	260,0	107,0	152,0

Согласно расчетам, общий объем одноразового выноса селя составит: 10 % обеспеченности – 10 008 м³, 1 % – 85 104 м³, а 0,1 % обеспеченности – 143 280 м³.

Учитывая, что после 1915 г. подобных (по высоте подъема уровня) паводков не наблюдалось, можно принять, что селевой паводок 1915 г. соответствует 1,2 % обеспеченности. Промеры поперечных профилей показывают, что максимальная волна селевого потока 1 % обеспеченности «вмещается» в естественные существующие русла: средняя суммарная площадь их поперечного сечения составляет 96 м².

На конусе имеются участки, где возможны прорывы селевой и водной массы потока в моменты прохождения максимальной волны. В бассейне руч. Сухого имеются следы прохождения селей и есть условия их формирования с большими расходами и скоростями, которые могут причинить разрушения в поселке, расположенном на селевом конусе, прорезанном сухим руслом на глубину 3–4 м, что подтверждает тектоническую активность хр. Хамар-Дабан в современный период. Выработанное сечение русла достаточно для прохождения селей и паводков высокой интенсивности, но имеются пониженные участки правого берега, подверженные размыву.

Исходя из охарактеризованных селеформирующих факторов и морфологических особенностей долины рекомендуется сквозной пропуск селевой массы с использованием естественных русел, с возведением селенаправляющей дамбы; для снижения нагрузки на селенаправляющую дамбу – предусмотреть установку «селерезов», сквозных сооружений с целью сепарации селевой массы до ее подхода к дамбе. Обязательной мерой, снижающей опасность образования оползней-сплывов на склонах, является сохранение древесно-кустарниковой растительности.

Размещение селезащитных сооружений не должно вносить заметных изменений в существующие инженерно-геологические и ландшафтно-морфологические компоненты.

Морфология участка и наличие фрагментов сухих русел позволяют здесь произвести регулирование транзитного потока с отводом его под авто- и железнодорожными мостами.

Выводы

Установлено, что в бассейне руч. Сухого имеются условия для формирования водокаменных, грязекаменных и древесно-грязекаменных селевых потоков.

Значительная фильтрация поверхностных вод в пределах бассейна препятствует зарождению селей при выпадении определенного количества осадков, которых достаточно для образования селей в соседних бассейнах. Это происходит из-за перетока поверхностных вод в подземные, выходы которых происходят за пределами бассейна. Недостаток водной составляющей является причиной малой повторяемости селей в долине руч. Сухого. Формирование селей в бассейне происходит в результате:

а) неполного оттаивания слоя сезонной мерзлоты, закрывающей доступ к поглощению талых и ливневых вод, в карстовые и высокотрещиноватые сейсмотектонические зоны коренных пород;

б) многодневного выпадения значительного количества (50–100 мм и более) осадков, во время которых водопоглощающие каналы не способны пропустить такое количество осадков, их излишки и пополняют поверхностный сток в бассейне.

При этом сели малой и средней интенсивности не представляют существенной угрозы пос. Сухой Ручей, поскольку транзит селевой и водной массы возможен по существующим сухим руслам. Однако сели 1–2 % обеспеченности требуют организации и возведения селезащитных мероприятий. Морфологические особенности бассейна позволяют применить для этого различные варианты селепропускных, селенаправляющих и сепарирующих сооружений и снизить опасность для жителей поселка, железной дороги, автомагистрали и других линейных систем.

Противоселевая защита в Южном Прибайкалье на протяжении более 100 лет носит фрагментарный и пассивный характер. В настоящий период защита требует систематических (практически ежегодных) затрат. Принятые же меры защиты после катастрофических паводков 1971 г. не проверены «на деле» и они, в большей мере, защищают объекты железной и шоссейной дорог, линии кабеля связи и электропередач. При этом мало затронуты интересы людей, проживающих в городах и поселках на берегах озера – от порта Байкал до г. Байкальска и особенно тех, кто по незнанию активно осваивают заведомо опасные участки территории Южного Прибайкалья. Очевидно, настала необходимость организации системного подхода к защите инфраструктуры Слюдянского района от геологических опасностей. Для этого необходимо создание крупномасштабных карт с выделением чрезвычайно опасных, опасных и потенциально опасных участков береговой зоны.

При этом следует предусмотреть постоянный контроль, оценку и прогноз развития опасностей на основе объединения разрозненных действий исполнительных органов государственной власти и местного самоуправления, а также различных заинтересованных ведомств. В работе не предлагаются методы технологического воздействия на опасные процессы и ре-

комендации по управлению безопасности территории Южного Прибайкалья, являющейся экономически и стратегически важной в целом для России, так как для каждого техногенного объекта, расположенного в опасной зоне, необходима разработка специфических защитных мероприятий.

Со дня начала строительства железной дороги не проведены исследования по созданию системы мониторинга опасных процессов и даже не были заложены основы нормативно-правового регулирования вопроса защиты стратегически важной для России территории Южного Прибайкалья. Перефразируя пословицу, скажем, что «пока нет селей, нет проблем» для осуществления разработки превентивных противоселевых мероприятий, эффективность которых экономически во много раз их оправдает. Но для этого необходима наработка законодательной и нормативной баз по проблемам управления рисками от опасных селей и разработка определения критериев *отнесения селей, оползней-сплывов, снежных и каменных лавин, обвалов к видам чрезвычайных ситуаций* различного масштаба.

В итоге следует отметить, что имеющиеся исторические сведения по разрушению населенных пунктов, линейных систем позволяют уже сегодня органам власти на региональном и муниципальном уровне с привлечением ведомств создать объединенную структуру защиты от опасных геологических процессов в Южном Прибайкалье.

Список литературы

1. Инженерная геология Прибайкалья / под ред. Г. Б. Пальшина. – М. : Наука, 1968. – 191 с.
2. Зорин Ю. А. Новейшая структура и изостазия Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий / Ю. А. Зорин. – М. : Наука, 1971. – 168 с.
3. Дмитриев Г. А. Темпы и типы осадконакопчений в оз. Байкал / Г. А. Дмитриев, Э. М. Колокольцева // Донные отложения Байкала. – М. : Наука, 1970. – С. 69–80.
4. Нагибина М. С. Формация и тектоника мезозойских прогибов Монголо-Охотского пояса // Тектоника Сибири. – Т. 1. – Новосибирск : Изд-во АН СССР, 1962. – С. 264–275.
5. Лапердин В. К. Сейсотектонические предпосылки прогноза экзодинамических процессов на юге Сибири / В. К. Лапердин, Е. Н. Алтухов // Прикладная геоморфология и неотектоника юга Восточной Сибири : тез. докл. – Иркутск, 1988. – С. 59–60.
6. Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы / под ред. В. П. Солоненко. – Новосибирск : Наука, 1977. 303 с.
7. Подход к оценке опасности сильного землетрясения в зоне Главного Саянского разлома по данным GPS-геодезии и палеосейсмологии / В. А. Саньков [и др.] // Геология и геофизика. – 2004. – № 11. – С. 1369–1376
8. Задонина Н. В. Динамика временных вариаций интенсивности опасных природных процессов. Анализ временных рядов / Н. В. Задонина. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2007. – 102 с.

9. Будз М. Д. Курумы хребта Хамар-Дабан и особенности гидротермического режима / М. Д. Будз, О. Л. Рыбак // *Вопр. геологии Прибайкалья и Забайкалья*. – Вып. 3 (5). – Чита, 1968. – С. 90–94.

10. Будз М. Д. Сели / М. Д. Будз, В. И. Астраханцев // *Инженерная геология Прибайкалья*. – М. : Наука, 1968. – С. 108–111.

11. Флейшман С. М. Сели / С. М. Флейшман. – Л. : Гидрометеоиздат, 1970. – 350 с.

The Mudflow Hazard in the Territory of Southern Pribaikalia (Citing the brook Sukhoy Valley as an Exampled)

R. A. Kachura, A. S. Kuklin, V. K. Laperdin, N. V. Timofeyev

Annotation. Citing the case of brook Sukhoy, the factors stimulating the hazards and risks in the territory of southern Pribaikalia can be defined.

Key words: factors, hazard, risks, soils, seismicity, tectonics, geology, precipitation, processes, mudflow site.

Качура Роман Алексеевич
Иркутский государственный технический университет
664074, Иркутск ул. Лермонтова, 83
аспирант

Лапердин Валерий Кириллович
доктор геол.-минерал. наук
Институт земной коры СО РАН
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128
старший научный сотрудник
тел.: (3952) 42-63-11

Куклин Алексей Сергеевич
Иркутский государственный технический университет
664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83
аспирант

Тимофеев Николай Владимирович
Институт земной коры СО РАН
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128
аспирант