

DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Proceedings
of the 7th International Conference

Chengdu, China, 23–27 September 2024



Edited by
S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva

Geomarketing LLC
Moscow
2024

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Труды
7-й Международной конференции

Чэнду, Китай, 23–27 сентября 2024 г.



Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева

ООО «Геомаркетинг»
Москва
2024

泥石流： 灾害、风险、预测、防治

會議記錄

第七届国际会议

中国成都, 2024年9月23日至27日



編輯者

S.S. Chernomorets, K. Hu, K. Viskhadzhieva

Geomarketing LLC

莫斯科

2024

УДК 551.311.8
ББК 26.823
С29

Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 7th International Conference (Chengdu, China). – Ed. by S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva. – Moscow: Geomarketing LLC. 622 p.

Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 7-й Международной конференции (Чэнду, Китай). – Отв. ред. С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева. – Москва: ООО «Геомаркетинг», 2024. 622 с.

泥石流：灾害、风险、预测、防治。 會議記錄 第七届国际会议. 中国成都。 編輯者 S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva. – 莫斯科: Geomarketing LLC. 622 p.

ISBN 978-5-6050369-6-8

Ответственные редакторы: С.С. Черноморец (МГУ имени М.В. Ломоносова), К. Ху (Институт горных опасностей и окружающей среды Китайской академии наук), К.С. Висхаджиева (МГУ имени М.В. Ломоносова).

Edited by S.S. Chernomorets (Lomonosov Moscow State University), K. Hu (Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS), K.S. Viskhadzhieva (Lomonosov Moscow State University).

При создании логотипа конференции использован рисунок из книги С.М. Флейшмана «Селевые потоки» (Москва: Географгиз, 1951, с. 51).

Conference logo is based on a figure from S.M. Fleishman's book on Debris Flows (Moscow: Geografgiz, 1951, p. 51).

© Селевая ассоциация

© Debris Flow Association



Овраги и оползни как один из факторов возникновения селей в условиях равнинных территорий

И.И. Рысин, И.И. Григорьев

*Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия,
rysin.iwan@yandex.ru*

Аннотация. Приводятся примеры селевых (селеподобных) потоков в условиях равнинной территории юга Вятско-Камского междуречья на востоке Русской равнины. Линейные, площадные и объемные показатели размывов в оврагах, оползнях и руслах малых водотоков рассчитывались на основе геодезических съемок с применением электронных тахеометров и беспилотных летательных аппаратов. Представлены данные о селевом потоке на пойменном овраге, возникшем вследствие прорыва искусственно созданных земляных плотин двух прудов в днище балки, когда объемы переносимого материала с водосборной площади в 164 га превышали 1000 м³. Аналогичные процессы описаны для техногенных оврагов, возникших вследствие залпового прорыва весной большого объема водной массы, накопленного на водосборе площадью более 100 га, созданном дорожной насыпью. В результате максимальный прирост одного оврага составил 80,3 м, а другого, соответственно – 204 м. Приведены примеры размыва берегов малых рек в результате прорыва прудов, а также аномально высоких половодий и ливневых паводков на реках Агрызка и Кырыкмас. Для второй реки в табличной форме даны величины среднегодовых линейных, площадных и объемных размывов за последние 20 лет. Впервые приводятся результаты исследований оползня на левом склоне долины р. Вятка, начатые еще в начале 2000-х гг. Представлены результаты тахеометрической съемки за период с 2003 по 2023 г. Максимальные величины отступления стенки срыва оползня зарегистрированы в 2012 г. (17,1 м) и в 2005 г. (16,9 м). Суммарная величина отступления стенки срыва за прошедшие 20 лет составила 42,21 м.

Ключевые слова: селевые потоки, овраги, русловые размывы, оползень, тахеометрическая съемка, Удмуртская Республика

Ссылка для цитирования: Рысин И.И., Григорьев И.И. Овраги и оползни как один из факторов возникновения селей в условиях равнинных территорий. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 7-й Международной конференции (Чэнду, Китай). – Отв. ред. С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева. – М.: ООО «Геомаркетинг», 2024, с. 418–428.

Gullies and landslides as one of the factors of debris flows occurrence in the conditions of plain territories

I.I. Rysin, I.I. Grigoriev

Udmurt State University, Izhevsk, Russia, rysin.iwan@yandex.ru

Abstract. Examples of debris (debris flow-like) flows in the conditions of the plain territory of the south of the Vyatka-Kama interfluvium in the east of the Russian Plain are given. Linear, area and volume indices of scour in ravines, landslides and small watercourse beds were calculated on the basis of geodetic surveys using electronic total stations and unmanned aerial vehicles. Data are presented on a debris flow on a floodplain gully, which occurred as a result of a breach of man-made created earthen dams of 2 ponds in the bottom of a beam, when the volume of transported material from a catchment area of 164 ha exceeded 1000 m³. Similar processes have been described for technogenic gullies resulting from the volley bursting in spring of a large volume of water mass accumulated on a catchment area of more than 100 ha created by a road embankment. As



a result, the maximum growth of one gully was 80,3 m and the other, respectively, 204 m. Examples of erosion of small river banks as a result of pond bursting, as well as abnormally high floods and flash floods on the Agryzka and Kyrykmas rivers are presented. For the second river the values of average annual linear, area and volume scour for the last 20 years are given in tabular form. For the first time the results of the research of the landslide on the left slope of the Vyatka River valley, started in the early 2000s, are given. The results of total station survey for the period from 2003 to 2023 are presented. The maximum values of the landslide wall retreat were registered in 2012 (17,1 m) and in 2005 (16,9 m). The total retreat of the landslide wall over the past 20 years amounted to 42,21 m.

Key words: *debris flows, gullies, channel erosion, landslide, total station survey, Udmurt Republic*

Cite this article: Rysin I.I., Grigoriev I.I. Gullies and landslides as one of the factors of debris flows occurrence in the conditions of plain territories. In: Chernomorets S.S., Hu K., Viskhadzhieva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 7th International Conference (Chengdu, China). Moscow: Geomarketing LLC, 2024, p. 418–428.

Введение

Сели характерны для горных территорий, но селеподобные процессы могут возникать и в условиях равнин. Селеподобные процессы на равнинных территориях обычно образуются при прорывах земляных плотин прудов, водохранилищ, а также при экстремальных паводках (в результате редких интенсивных ливней) и половодьях. В последние годы появляется все больше публикаций, подтверждающих наличие селевых (селеподобных) потоков на Восточно-Европейской равнине, «возникавших в результате обвально-осыпных гравитационных процессов, за счет интенсивного мелко-струйчатого смыва происходил лавинный «сброс» материала как с крутых бортов оврагов и балок, так и с прилегавших к ним поверхностей плакоров. Переувлажненный материал, скопившийся в днищах склоновых эрозионных форм рельефа, на участках крутого продольного профиля, под воздействием гравитации, превращался в очень динамичный селевой поток» [Лаврушин и др., 2015, с. 71–72]. Так, некоторые исследователи утверждают, что «многие паводки, проходящие по оврагам, балкам и мелким водотокам на Европейской части России, несущие карчи, наносы и мелкие камни, по своему составу являются не водными потоками, а несвязными селями» [Виноградов, Виноградова, 2016, с. 50]. Авторы приводят примеры несвязных селей в г. Киеве, в бассейне реки Оки и паводок, прошедший в ночь с 6 на 7 июля 2013 г. в Валдайском районе Новгородской области. Некоторые авторы [Лапердин, Качура, 2010; Казаков, Генсиоровский, 2012] относят карчеход к разновидности селевого потока, аргументируя это тем, что в обоих случаях в потоке имеется твердая составляющая.

В работе Е.Ю. Ликутова [2016] представлен анализ склоновых процессов равнинных территорий и их селеформирующих возможностях, которые сильно различаются. По селеформирующим возможностям он все склоновые процессы подразделил на пять групп: от наибольших до нулевых. К первой группе им отнесены «обвальные, осыпные, лавинные, солифлюкционные – самостоятельно и во взаимодействии с дефлюкцией процессы». В пятую, нулевую группу включен делювиальный смыв, отличающийся тонким механическим составом отложений и незначительным объемом их поступления в русловые потоки [Ликотов, 2016, с. 147].

Материалы и методы

Современные экзогенные геоморфологические процессы, как один из факторов развития селей, на территории Удмуртской Республики (УР) представлены различными видами (рис. 1). Прежде всего выделяется активным развитием почвенная и овражная



эрозия, русловые размывы берегов рек. Менее активно развиваются оползневые и абразионные процессы, крип и другие.

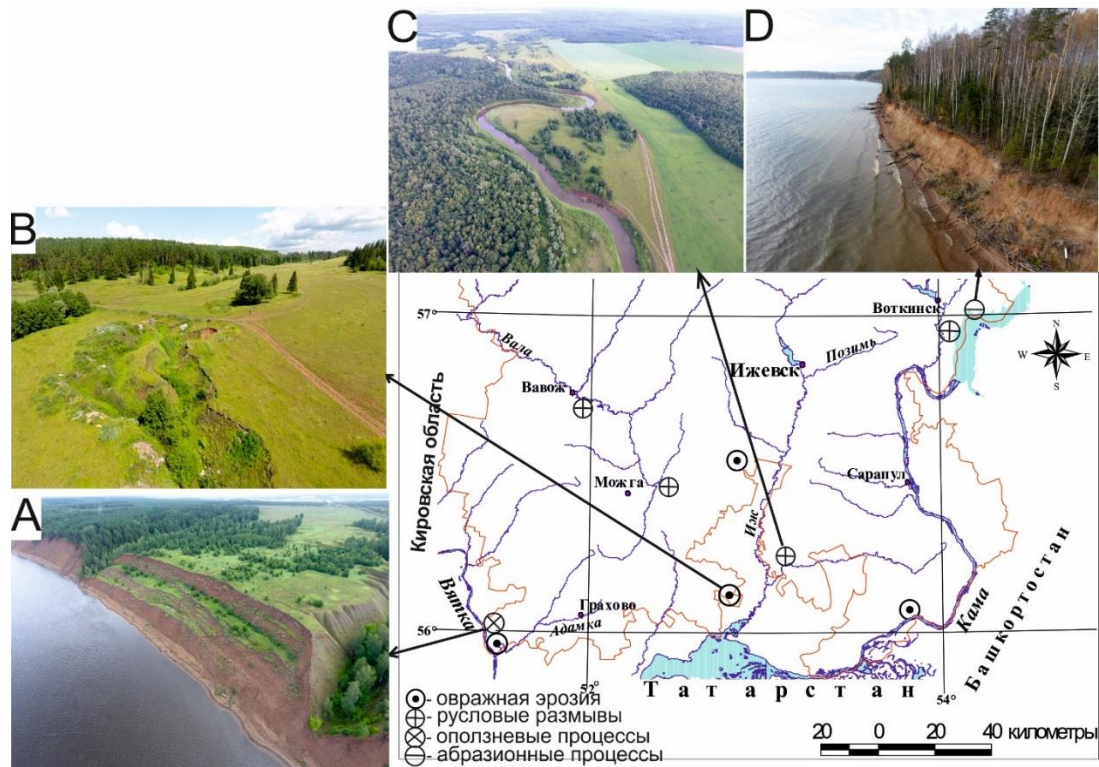


Рис. 1. Расположение участков по мониторингу современных экзогенных процессов на юге Удмуртии: А – оползень на р. Вятка (снимок с квадрокоптера 2019 г.), В – пойменный овраг на ключевом участке у д. Юмьяшур (2019 г.), С – размываемый участок р. Кырыкмас у д. Тавзямал (2019 г.), D – абразионный участок Воткинского водохранилища у д. Галево (2021 г.)

В работе использованы материалы многолетних наблюдений за развитием более 150 оврагов в пределах 28 ключевых участков в период с 1978 по 2023 г. на юге Вятско-Камского междуречья [Рысин, 1998; Рысин и др., 2018, 2023]. Наряду с мониторингом овражной эрозии нами осуществляются исследования горизонтальных русловых деформаций на реках разной величины и водности в пределах 55 ключевых участков, начиная с 1999 г. [Рысин, Петухова, 2006; Рысин и др., 2020]. Оползневые процессы на территории Удмуртии представлены преимущественно на крупных реках (Чепца, Вятка, Кама) и характеризуются чаще всего наличием большого количества относительно небольших блоков оползания. Изучение оползневых процессов проводится на примере размываемого участка левого берега р. Вятка (пр. приток р. Кама) с 1999 г. у с. Крымская Слудка Кизнерского района УР. Данные ежегодных полевых исследований дополняются гидрометеорологической информацией, предоставляемой Удмуртским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УЦГМС).

Методы исследования предусматривают плановую геодезическую съемку вершинной части оврагов, включая уступы, бровки, тальвег и поперечные профили с применением электронного тахеометра. На основе повторной тахеометрической съемки оцениваются линейный прирост и изменения плановой конфигурации бровок и тальвегов, их поперечного сечения по длине оврага. Кроме того, в наших исследованиях подсчитывался объем выносимого материала в пределах активно размываемой вершинной части оврагов. Объемный прирост оврагов определялся двумя методами:

1) классический метод с помощью построения поперечных профилей через равные расстояния (5–10 м) электронным тахеометром. С помощью программного комплекса «Кредо» (Россия) создается цифровая модель рельефа (ЦМР) (метод триангуляции).



Объем вычисляется как разница двух поверхностей – по бровке и по дну. В результате получаем картограмму или по сетке квадратов или по контуру. Рассчитанные значения сравниваются с предыдущими. Получаемая разница и будет объемом вынесенного материала за текущий календарный год [Григорьев, 2009];

2) фотограмметрический метод с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА). В результате обработки снимков БПЛА в программе Agisoft Metashape Professional (Россия) получаем ортофотоплан и ЦМР, жестко привязанную к требуемой системе координат (СК) (условная СК при использовании своих реперов или МСК-18 (местная система координат региона 18) при использовании ГНСС-приемников EFT M1 (Россия). В дальнейшем ортофотоплан можно использовать в качестве подложки для проведения линейных измерений в различных ГИС (MapInfo, ArcGis и т.п.) и САПР (Автокад, Кредо). ЦМР можно использовать для вычисления объемов в программе «Кредо» (1-й метод). Фотограмметрический метод используется в наших исследованиях с 2019 г.

Определение темпов линейного прироста на большинстве оврагов производится путем измерения расстояния от вершины оврага до предварительно установленного репера. Точность измерений составляет $\pm 0,01$ м. На большинстве участков (126 вершин оврагов) наблюдения проводятся один раз в год (летом), а на девяти ключевых участках (42 оврага) измерения осуществляются дважды: в мае, после снеготаяния и в октябре или начале ноября, после окончания сезона летнее-осенних ливней [Рысин, 1998].

Одним из методов изучения динамики рельефа является метод стержней и марок. Сущность его заключается в проведении повторных замеров расстояний до неподвижных стержневых реперов или марок. Металлические стержни (реперы) забиваются вертикально в грунт на такую глубину, чтобы обеспечить полную их устойчивость и на такое расстояние от береговой линии, чтобы они могли длительно существовать в условиях размыва (от 15 до 25 м). Измерения осуществляются по строго определенному направлению с помощью мерной ленты. В зависимости от длины размываемого участка излучины количество реперов (или марок) варьировалось от 2–3 до 5–10. Для определения скоростей размыва на всех ключевых участках было заложено около 300 реперов и марок, а в пределах 30 участков осуществлялась тахеометрическая съемка размываемого берегового уступа. Геодезические приборы для проведения указанных работ регулярно совершенствовались. В период 1978–2002 гг. это были оптико-механические геодезические инструменты (теодолиты Т30 и 2Т30). С 2003 г. начали использовать электронные инструменты с лазерными дальномерами (тахеометры «Trimble 3305», затем «Nikon NPR-332»).

С 2019 г. для изучения эрозионных процессов на большинстве ключевых участков нами применяется спутниковый приемник «EFT» вместе с квадрокоптерами «DJI Phantom 4» и «Autel Evo II PRO». Снимки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) отличаются сверхвысоким пространственным разрешением и имеют высокую скорость получения. Имеются и определенные недостатки: время полета ограничено емкостью батареи (20–30 мин в зависимости от модели), площадь исследуемого участка относительно небольшая (до 100 га), зависимость от погоды (ветер, осадки). Тем не менее, для изучения экзогенных процессов данные параметры вполне удовлетворяют. Для повышения точности ортофотопланов нами используется привязка к наземным маркерным пунктам, координаты которых определяются с помощью спутниковых приемников. Таким способом точность ортофотопланов достигает 5–10 см. Для производства аэрофотосъемочных работ имеющимися в нашем распоряжении квадрокоптерами применялись следующие параметры: высота полета в диапазоне 50–80 м, перекрытие снимков в продольном направлении – не менее 80%, в поперечном – не менее 70%. Для съемки линейных объектов требуется выполнение не менее 3 галсов. Последующая обработка аэрофотоснимков проводится нами в программе Agisoft Metashape Professional. В исследовании выполнялось построение 3d-моделей, ортофотопланов и цифровых моделей местности. Подготовка топографических планов, расчет площадей и объемов размывов осуществляется с использованием программного комплекса «Кредо» [Григорьев, Рысин, 2023].



Результаты и их анализ

Селеподобные процессы нами были зафиксированы на овраге, возникшем на пойме р. Варзинка (пр. приток р. Иж, впадающей справа в р. Кама) у д. Юмьяшур Алнашского района УР. Овраг возник вследствие прорывов искусственно созданных земляных запруд в устьевой и в средней части балки. Площадь нижнего пруда около 1 га, средняя глубина не более 0,5 м, максимальная у плотины – 1,2 м. На расстоянии около 600 м выше от 1-й плотины расположен 2-й пруд, площадью зеркала воды летом (июль) около 0,8 га, а весной, возможно до 1,5–2 га (рис. 2). На рисунке хорошо различается место прорыва верхней дамбы в южной части, такая же картина сохраняется на космических снимках в июле 2016 и 2020 гг. Более поздние снимки плохо читаются из-за наличия облаков. Общая площадь овражного водосбора – 164 га. Абсолютная высота ближайшего водораздела равна 162,6 м, а отметка уреза реки, где возник овраг, составляет 70 м. Глубина местного базиса эрозии здесь превышает 90 м. Разница отметок вершины оврага относительно его устья – 8 м. До 2011 г. овраг активно рос одной вершиной, в 2012 г. появилась 2-я вершина, а с 2013 г. прирост осуществляется тремя отвершками [Григорьев, Рысин, 2022]. Максимальная глубина его при вершине в 2023 г. составила 2,5 м, а ширина в трех метрах от вершин – чуть более 7 м, в 25 м от вершин ширина оврага достигает 22 м, а глубина – 4 м. Глубина оврага в вершинной части в последние 3 года уменьшается, а ширина, наоборот – возрастает.



Рис. 2. Место расположения двух земляных запруд в балке и вид пойменного оврага на космоснимке в июле 2013 г.

Суммарный линейный прирост оврага за 2007–2023 гг. составил 155,6 м, а в первый год прорыва земляных запруд в 2007 г. он вырос на 53 м. Второй максимум прироста был зарегистрирован на следующий 2008 г. (38 м), что было связано с повторным прорывом двух земляных дамб (рис. 3). При этом в овраге возникали селеобразные потоки с высокой концентрацией твердого материала (размытые суглинки, древесина, солома, коммунальные бытовые отходы), выносимого в русло малой реки. Конуса выноса в устье оврага не было зафиксировано, поскольку весь твердый материал выносился руслом реки.

Если до 2011 г. для оврага определялся в основном годовой линейный прирост, а также ширина и глубина оврага при вершине, то начиная с 2012 г. на овраге стала проводиться детальная тахеометрическая съемка с получением линейного, площадного и объемного прироста оврага (таблица 1). Анализ данных показывает, что за последние 11 лет активность роста оврага сокращается, что возможно объясняется отсутствием средств у владельца прудов на ремонт верхней земляной плотины, где не происходит



накопления достаточных объемов водной массы. Если максимальные скорости линейного прироста отмечены в 2015 (8,1 м) и в 2013 г. (6,3 м), то минимальный зарегистрирован в 2020 г. (0,3 м). Аналогичным образом изменялись площадные и объемные величины приростов: так, в 2015 г. площадь оврага возросла на 112,8 м², а объем, соответственно, на 242,8 м³. Рассчитанный коэффициент корреляции подтвердил очень высокую связь между линейным и площадным приростом оврага ($r = 0,939$), еще более высоким коэффициент связи получился между линейным и объемным приростом (0,966), что хорошо демонстрирует график связи между ними (рис. 4).



А

В

Рис. 3. Овраг на пойме р. Варзинка, возникший в результате прорыва двух земляных дамб прудов: А – июль 2008 г.; В – июль 2023 г.

Таблица 1. Результаты многолетних наблюдений за линейным, площадным и объемным приростом оврага на пойме р. Варзинка

Год	Линейный прирост, м	Прирост площади, м ²	Прирост объема, м ³
2013	6,3	103,4	226,6
2014	2,5	47,2	90,2
2015	8,1	112,8	242,8
2016	2,4	39,9	80,3
2017	0,8	19,3	43,3
2018	1,0	13,8	24,1
2019	1,8	20,8	40,4
2020	0,3	1,0	2,6
2021	1,5	17,9	31,5
2022	4,9	36,9	108,7
2023	1,7	14,5	27,4

На основе полученного уравнения связи между объемом размываемого почвогрунта в овраге и его годовым линейным приростом нами были рассчитаны объемы вынесенного твердого материала в 2007 и 2008 г., когда были отмечены экстремальные приросты. Объем вынесенного из оврага размытого материала весной 2007 г. составил 1659 м³, а весной 2008 г., соответственно – 1188 м³. Сюда не включены объемы твердых бытовых отходов, выбрасываемых местными жителями в вершины оврагов. Объемы весенних селевых потоков в пойменном овраге значительно превышают объемы селевого потока, описанные в двух ручьях Новгородской области в результате аномального ливня в июле 2013 г. [Виноградов, Виноградова, 2016, с. 52–53].

Подобный процесс мы зафиксировали также весной 2011 г. на овраге у с. Тарасово Сарапульского района УР, когда неглубокая ложинообразная балка была превращена в активный овраг длиной 204 м, возникший за счет залпового сброса талых, буровых вод и нефти (рис. 5А). Глубина оврага в средней части порядка 2–2,5 м, ширина его в устьевой части изменялась в пределах от 5–6 до 10–12 м, а глубина достигала 3–4 м [Григорьев, Рысин, 2017]. Вершина оврага заканчивалась у бетонного водопропуска, сооруженного на асфальтированном шоссе. Насыпь автодороги высотой около 2 м создает искусственный водосбор площадью около 100 га. В пределах водосбора находились добывающие нефть скважины и буровые, окруженные в основном



пахотными угодьями. Возможно, что утечка нефти произошла вследствие порыва трубопроводов, вскрытых оврагом. Следы нефти отчетливо сохранялись в днище и на стенках оврага вплоть до лета 2012 г., а в июле 2013 г. следов нефти в овраге обнаружено не было. В настоящее время развитие оврага продолжается за счет размывания ежегодно насыпаемых грунтов при его вершине, а склоны его в средней и нижней части постепенно зарастают.

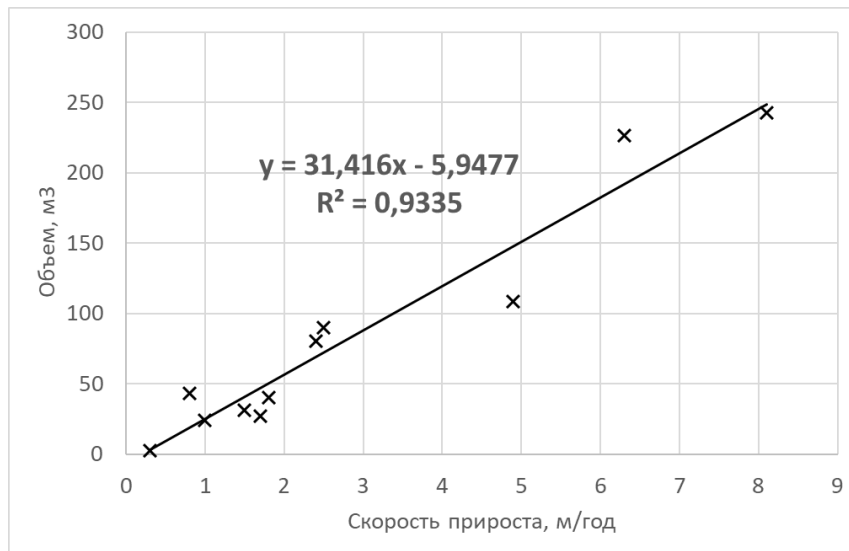


Рис. 4. График зависимости между объемом размываемого грунта в овраге и скоростью его линейного прироста за 2013–2023 гг.

В условиях аномального весеннего половодья и интенсивных ливней селеподобные потоки в оврагах способны разрушать и перемещать бетонные сооружения, что нами было зафиксировано летом 2001 г. в одном из оврагов близ с. Соколовка Сарапульского района УР, развивающегося на крутом правом склоне долины р. Камы (рис. 5В).

Вторым рекордсменом в линейном приросте является приводораздельный овраг, развивающийся в делювиально-солифлюкционных лессовидных суглинках в 0,5 км восточнее с. Мушак Киясовского района УР. Его среднегодовая скорость роста за 15-летний период развития (1982–1997 гг.) составила 38,3 м/год (рис. 6А). Длина его от устья до вершины, измеренная по тальвегу в 1997 г., была равна 574,5 м. Глубина вреза в нижней части достигает 12–15 м, ширина до 20–25 м, крутизна стенок иногда превышает 50°. Овраг вскрыл водоносный горизонт и на его дне образовался постоянный водоток. Овраг образовался весной 1982 г. вследствие строительства дороги с земляной насыпью высотой около 2 м, поскольку водопропуски не были предусмотрены проектом, то весной земляная дамба образовала водосборный бассейн, площадью около 110 га. Если в 1982 и 1983 г. запасы накопленных на водосборе талых вод были незначительные, то ниже прорыва дамбы возник овраг длиной 36,8 м, на следующий год он вырос еще на 20,8 м. Аномальные приросты оврага были отмечены в 1984 (63,2 м) и в 1985 гг. (80,3 м), когда максимальные расходы половодья на большинстве рек УР превышали средние многолетние значения в 10–11 раз [Рысин, 1998]. Объемы выносимого материала из оврага в то время нами не рассчитывались, но судя по размерам оврага, они были достаточными, чтобы формировать настоящий селевый поток. В 2001 г. указанную дорогу реконструировали и в месте прорыва дамбы был сооружен бетонный водопропуск с водонакопителем, в результате чего активная стадия развития оврага завершилась, и он начал постепенно зарастать (рис. 6В). Среднегодовая скорость его роста за 1998–2023 гг. составила всего 1,87 м/год. Если в 1998–2000 гг. овраг еще активно



развивался со средней скоростью около 6 м/год, то с 2001 г. темпы годового прироста были незначительные, часто близкие к нулевым.



А



В

Рис. 5. Последствия катастрофического роста придорожного оврага ниже водопропуска весной 2011 г. у с. Тарасово Сарапульского района УР (А), вершина активного оврага с разрушенным бетонным водопропуском на правом крутом склоне долины р. Кама (В)

Селевые потоки могут возникать в оврагах и во время выпадения аномально интенсивных ливней. Подтверждением тому может послужить ливень 19 июня 2012 г., когда за 12 часов по данным УЦГМС в г. Ижевске выпало 75 мм осадков. В результате в отдельных районах города образовались овраги протяженностью около 20 м и глубиной до 1,5 м, а на некоторых асфальтированных улицах появились даже промоины [Григорьев, Рысин, 2017].



А



В

Рис. 6. Верхняя часть активно растущего оврага перед дорожной насыпью в 1999 г. (А) и его зарастающая средняя часть в 2014 г. (В)

Наряду с оврагами, селевый поток может возникнуть на малых и очень малых реках в результате размывов берегов во время экстремальных половодий или ливневых паводков. В этих условиях дополнительным поставщиком твердого материала с водосбора малой реки выступают овражно-балочные системы с наличием земляных запруд. Примером такого размыва может послужить р. Агрызка (пр. приток р. Иж), имеющей длину 33,5 км с меженным расходом 95% обеспеченности в устье 0,054 м³/с (г. Агрыз). Наблюдения за размывом осуществляются у д. Баграш-Бигра с 2001 г. Если средние годовые размывы обычно варьируют в пределах 0,1–0,4 м, то максимальная величина размыва в 2003 г. достигла 8,1 м, что явилось результатом прорыва земляной плотины пруда, расположенной выше ключевого участка на расстоянии около 1 км.

О величине объемов размываемого материала на малых реках, где осуществляется тахеометрическая съемка, могут послужить данные по р. Кырыкмас (лев. приток р. Иж), где наблюдения проводятся с 2003 г. у д. Тавзямал Киясовского района УР (рис. 1В). Длина реки 107,8 км, меженный расход 95% обеспеченности в устье составляет 0,734 м³/с. Ключевой участок расположен около 10 км выше устья реки. Максимальная длина съемки береговой линии в 2003 г. составила 351 м, средняя высота размываемого берегового уступа, соответственно 6,8 м (рис. 7А). Наибольшие величины объемов



размыва были отмечены во время высоких половодий в 2010 (2367 м³), в 2012 (2136 м³) и в 2021 г. (4058 м³). Вместе с размытым суглинистым материалом в водном потоке переносился и древесный материал в виде карчи (рис. 7B). Площади размывов в указанные годы изменяются от 300–500 м² и более. Максимальные линейные размывы (ширина) варьируют в пределах 4,7–8,1 м (таблица 2).



А



В

Рис. 7. Интенсивно размываемый участок на р. Кырыкмас в июле 2023 г. (А) и размыв деревьев с корневой системой р. Пызеп (пр. приток р. Чепца) у д. Бани Балезинского района УР (В)

Таблица 2. Данные тахеометрической съемки на р. Кырыкмас

Годы	Показатели участка				
	Длина линии размыва вдоль русла, м	Средняя ширина размыва, м	Максимальная ширина размыва, м	Площадь размыва, м ²	Объем размыва, м ³
1	2	3	4	5	6
2004	284,2	0,75	2,76	213,43	1088
2005	145,6	0,42	2,34	60,64	416
2006	128,3	0,74	2,41	94,77	646
2007	147,5	0,71	3,82	104,96	712
2008	102,5	0,99	3,06	101,53	690
2009	182,1	0,46	1,52	84,14	570
2010	148,78	2,34	4,74	348,81	2367
2011	173,26	1,24	3,08	214,5	1461
2012	209,4	1,5	5,01	313,9	2136
2013	170,6	0,88	3,04	149,57	1021
2014	142,33	0,71	1,98	100,99	687
2015–2016	189,47	2,12	5,16	402,14	2731
2017	192,34	1,16	2,43	222,28	1518
2018	129,12	0,42	1,7	53,96	369
2019	228,7	0,75	3,59	174,1	1184
2020	121,8	0,44	1,38	54,1	368
2021	244,2	2,44	8,14	596,8	4058
2022–2023	276,8	0,77	3,4	212,2	1443

Селевый поток может возникнуть и на крутых склонах речных долин, в местах возникновения оползней. Такой оползень образовался в 2001 г. на левом склоне долины р. Вятка, сложенном плейстоценовыми лессовидными суглинками, расположен на северной окраине с. Крымская Слудка Кизнерского района УР (рис. 1А, 8).



Тахеометрическая съемка оползня ежегодно проводится с 2003 г., в этот год его объем составил 101 110 м³, а площадь, соответственно – 12 138 м². В 2022 г. объем увеличился до 112 770 м³, а площадь – до 14670 м². Относительная высота бровки склона над урезом воды составляет в среднем 37 м. Крутизна верхней стенки срыва оползня в 2003 г. была практически отвесной и составляла порядка 60–70°, в 2022 г. она оказалась сильно выположенной, изменяясь в пределах 40–50°.



Рис. 8. Вид оползневого тела со стенкой срыва на склоне долины р. Вятка в июле 2001 г. (А), общий вид верхней ступени оползня и стенки срыва в июле 2013 г. (В)

Результаты исследований показывают, что длина оползневого тела постепенно увеличивается, если в 2003 г. она была лишь 220 м, то в 2023 г. уже составила 290 м. Максимальные величины отступления стенки срыва оползня зарегистрированы в 2012 (17,1 м) и 2005 г. (16,9 м). Существенными они были также в 2011 (7,8 м), в 2009 (5,8 м) и 2023 г. (5,5 м). В указанные годы значительными были и площади оползневого тела. Суммарная средняя величина отступления стенки срыва за прошедшие 21 год составила 42,21 м.

Выводы

1. На основе приведенных выше данных можно сделать заключение о наличии селевых (селеподобных) потоков и в условиях равнинных территорий Восточно-Европейской (Русской) равнины.
2. Экстремальные половодья и паводки, проходящие по оврагам, балкам, малым и очень малым водотокам на Русской равнине, способные переносить большие объемы карчи, твердых наносов и всевозможных бытовых отходов, по своему составу и характеру проявления можно отнести к селеподобным явлениям.
3. Необходимое условие образования селеподобных явлений на равнинах – экстремальные половодья весной, аномально интенсивные осадки в летне-осенний период и наличие дополнительных объемов воды, накопленных в прудах овражно-балочных водосборов.
4. Наряду с оврагами и малыми водотоками, высокими селеформирующими возможностями обладают оползни, возникающие на крутых и высоких склонах крупных речных долин.
5. В связи с большим ущербом, который наносят селевые процессы окружающей среде и хозяйственной деятельности, их изучение на равнинах имеет как научную, так и практическую значимость, особенно в целях защиты и прогнозирования.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00194, <https://rscf.ru/project/23-27-00194>.



Список литературы

- Виноградов А.Ю., Виноградова Т.А. Селевые явления на равнинных территориях (на примере Новгородской области) // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: Материалы IV Международной конференции (Россия, г. Иркутск – пос. Аршан (Республика Бурятия), 6–10 сентября 2016 г.). – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2016. – С. 50–54.
- Григорьев И.И. Использование программного комплекса «Credo» для определения объемов и площадей оврагов // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2009. Вып. 2. С. 141–145.
- Григорьев И. И., Рысин И. И. Использование беспилотных авиационных систем в исследовании опасных эрозионных процессов на территории Удмуртии. // Природные опасности: связь науки и практики: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., посвящен. 150-летию Михаила Ивановича Сумгина (Саранск, 18–19 мая 2023 г.) / отв. ред. Д. Е. Глушко. – Саранск: Изд-во Морд. ун-та, 2023. – С. 136–142.
- Григорьев И.И., Рысин И.И. Многолетняя динамика линейного, площадного и объемного прироста оврагов на территории Удмуртии // Геоморфология, 2022, том 53, № 4, с. 56–74.
- Григорьев И.И., Рысин И.И. Техногенные овраги на территории Удмуртии. – Казань: Изд-во Удмурт. ун-та, Изд-во АН РТ, 2017. – 190 с.
- Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В. Паводки на малых реках низкогогорья южного и среднего Сахалина как несвязные селевые потоки. Труды Второй конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита». М., Изд. МГУ, 2012 – С. 49–50.
- Лаврушин Ю.А., Бессуднов А.Н., Спиридонова Е.А., Кураленко Н.П., Недумов Р.И., Холмовой Г.В. Палеозоологические катастрофы в позднем палеолите центра Восточной Европы. – М.: ГЕОС, 2015. – 88 с.
- Лапердин В.К., Качура Р.А. Геодинамика опасных процессов в зонах природно-техногенных комплексов Восточной Сибири. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2010. – 312 с.
- Ликутов Е.Ю. Селеформирующие возможности склоновых процессов // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: Материалы IV Международной конференции (Россия, г. Иркутск – пос. Аршан (Республика Бурятия), 6–10 сентября 2016 г.). – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2016. – С. 143–148.
- Рысин И.И. Овражная эрозия в Удмуртии: монография / И. И. Рысин, Удмурт. гос. ун-т. – Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 1998. – 274 с.
- Рысин И.И., Голосов В.Н., Григорьев И.И., Зайцева М.Ю. О причинах современного сокращения темпов роста оврагов в Удмуртии // Геоморфология, 2018, № 1. С. 75–87.
- Рысин И.И., Григорьев И.И., Пермяков М.А. О результатах многолетних исследований овражной эрозии на юге Вятско-Камского междуречья // XXXVII пленум геоморфологической комиссии Российской академии наук: тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Иркутск, 5–10 сент. 2023 г.) / отв. ред. Ю. В. Рыжов. – Иркутск: Изд-во Ин-та земной коры СО РАН, 2023. – С. 293–298.
- Рысин И.И., Петухова Л.Н. Русловые процессы на реках Удмуртии (монография). Ижевск: Ассоциация «Научная книга», 2006. – 176 с.
- Рысин И.И., Григорьев И.И., Петухова Л.Н., Андреев О.Н. Результаты многолетних исследований русловых размывов на реках Удмуртии // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 7. Сборник трудов / под ред. Р.С. Чалова. М.: Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова. 2020. С. 269–280.