

УДК 551.435.162(470.51)(045)

*И.И. Рысин, М.И. Зайцева, Д.А. Сунцов***ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ И ГЛУБИНЫ ВЕРШИННОГО УСТУПА ОВРАГОВ НА СКОРОСТЬ ИХ РОСТА НА ТЕРРИТОРИИ УДМУРТИИ**

Приводятся результаты корреляционного анализа влияния ширины и глубины вершинного уступа оврагов на скорость их годового прироста на территории Удмуртской Республики. Данные получены на основе мониторинга 168 вершин различных типов оврагов за период с 1998 по 2020 гг., расположенных в различных ландшафтно-геоморфологических условиях республики. В таблице приводятся статистические данные морфометрических показателей по 5 типам оврагов. На графиках показаны вариации средних годовых значений глубины вершинного уступа всех оврагов и их ширины за рассматриваемый период. Установлено постепенное снижение глубин вершинных уступов и общий положительный тренд их ширины, что особенно отчетливо проявляется за последние 5 лет наблюдений. Корреляционный анализ показал, что между средней глубиной и средней скоростью линейного прироста оврагов существует достаточно надежная корреляционная связь ($r=0,570$). Наибольшая связь с анализируемым показателем характерна для линейного прироста донных оврагов ($r=0,752$), на втором месте оказались вершинные овраги ($r=0,688$). Достаточно тесная связь с глубиной вершинного уступа была обнаружена также у придолинных оврагов ($r=0,674$). При анализе среднегодовых скоростей роста всех оврагов от средней ширины их вершины обнаружилась слабая связь ($r=0,389$). При этом достоверная существенная связь выявлена только для вершинных оврагов ($r=0,582$). Надежная умеренная связь установлена для приводораздельных оврагов ($r=0,485$) и слабая положительная связь, соответственно, для донных оврагов ($r=0,335$). В обоих случаях связь не обнаружена только для прибалочных оврагов. Рассматриваемые зависимости рассчитывались также для 6 групп оврагов, размывающих различные литологические комплексы отложений.

Ключевые слова: рост оврагов, глубина вершинного уступа, ширина оврага, корреляционный анализ, мониторинг, Удмуртия.

DOI: 10.35634/2412-9518-2021-31-1-76-87

Овражная эрозия является важным процессом изменения современного рельефа, способствуя формированию отрицательных линейных форм рельефа и перемещению огромного количества материала, оказывая влияние на русловой режим и сток наносов рек [1; 2]. Рост оврагов приводит к сокращению площадей пахотных земель, разрушению строений, заилению водохранилищ и т. д. [3]. Основными причинами развития оврагов являются как нерациональное экстенсивное землепользование [4] и возрастающая из года в год техногенная нагрузка (строительство дорог и трубопроводов, изменения площадей водосборов оврагов при различного рода деятельности, увеличение коэффициентов поверхностного стока, неконтролируемый сброс воды и т. п.) [5; 6], так и изменение климата (увеличение интенсивных ливней со слоем более 40 мм и запасов воды в снеге при теплых зимах и меньшей глубине промерзания) [7].

В представленной работе проводится анализ влияния отдельных морфометрических факторов (глубина и ширина оврага при вершине) на темпы ежегодного прироста оврагов на территории Удмуртской Республики (УР), установленных на основе мониторинга в период 1998–2020 г. 168 вершин оврагов, расположенных в различных ландшафтно-геоморфологических условиях республики и имеющих в основном распахиваемые водосборы. Из указанных оврагов 56 вершин не имеет признаков роста в течение 10 и более лет, 8 вершин оврагов прекратило свой рост в последние 5–6 лет. Для 36 вершин оврагов основной причиной отсутствия роста является зарастание ранее распахиваемых водосборов многолетними сорняками и мелколесьем, 11 вершин засыпано грунтом в результате проведения противоэрозионных мероприятий или твердыми коммунальными отходами. При этом 17 оврагов исчерпали потенциал своего развития вследствие уменьшения их водосборов выше вершин или увеличения эрозионной устойчивости почвенно-растительного покрова водосборной площади [7].

Детальный анализ влияния различных морфолого-морфометрических факторов на развитие овражной эрозии имеется для временного ряда с 1978 по 1997 гг. [1; 8]. С тех пор произошли существенные изменения в сельскохозяйственном производстве и в целом в экономических отношениях. Значительные площади пахотных земель не обрабатываются и зарастают мелколесьем, что заметно повлияло на процессы развития овражной эрозии. Так, например, после 1990 г. темпы сокращения

обрабатываемых пахотных угодий (посевных площадей) значительно увеличились и в интервале 1990–2010 гг. площадь их уменьшилась почти на четверть, составив 76,5 % по отношению к 1990 г. [9]. Морфолого-морфометрические факторы, являясь азональными, привносят значительные изменения в интенсивность развития оврагов даже на смежных территориях. Литолого-геоморфологическое строение территории, глубины местных базисов эрозии, морфометрические характеристики склонов и их экспозиция, а также величины водосборной площади, ширина и глубина оврага при вершине являются одними из наиболее важных условий, влияющими на процессы овражной эрозии [10–12]. В работах отечественных и зарубежных ученых подобные исследования отсутствуют, что повышает научную новизну и актуальность работы.

Целью данной статьи является установление влияния морфометрических характеристик вершинной части оврага (глубины вершинного уступа и ширины оврага при вершине, измеряемая на расстоянии 3 м от вершины) на скорость отступления (роста) его вершины для различных типов оврагов и размываемых ими литологических комплексов отложений. Количественные показатели ежегодного роста вершин оврагов и их литолого-морфометрические характеристики определялись в полевых условиях при мониторинговых исследованиях [1; 8; 12].

Объект и методы исследований

Глубина вершинного уступа оврагов за 1998–2020 г. изменялась в широких пределах: от 0,1 м и менее до 2,7 м. Максимальная глубина вершинного уступа была зарегистрирована в 2001 г. у придолинного оврага, размывающего плейстоценовый перигляциальный аллювий р. Вятка в пределах с. Крымская Слудка Кизнерского района и у техногенного (придолинного) оврага, растущего в коренных верхнепермских породах в окрестностях д. Макарово Завьяловского района в 2002, 2006–2010 гг. Ширина оврага в вершинной части за рассматриваемый период изменялась также в больших пределах: от первых метров до 10–13 м. Максимальная ширина в вершинной части (13 м) была отмечена в вершинном овраге на ключевом участке у села Варзи-Ятчи Алнашского района в 2015 и 2016 гг. Статистические данные морфометрических показателей исследуемых оврагов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Статистические показатели глубины вершинного уступа оврага и его ширины за период наблюдений 1998–2020 годы

Параметры оврагов*		Статистические показатели							
		Кол-во оврагов	Среднее арифметическое	Мода	Медиана	Дисперсия выборки	Стандартное отклонение	Асимметричность	Коэффициент вариации
Глубина вершинного уступа	В	43	0,84	0,7	0,7	0,26	0,51	0,63	0,61
	Д	35	1,03	0,8	1	0,23	0,48	0,58	0,46
	ПБ	16	1,01	1,2	1,2	0,13	0,36	-0,47	0,36
	ПВ	52	0,77	0,6	0,7	0,25	0,50	0,86	0,65
	ПД	31	0,71	0,6	0,6	0,25	0,50	1,18	0,70
Ширина вершинной части	В	43	3,11	2,6	2,6	3,76	1,94	2,19	0,62
	Д	35	3,48	2,3	2,8	3,84	1,96	1,61	0,56
	ПБ	16	3,07	1,4	3,1	1,86	1,36	2,24	0,44
	ПВ	52	2,59	2,4	2,5	1,35	1,16	1,37	0,45
	ПД	31	2,57	2,6	2,3	4,27	2,07	3,23	0,80

Примечание: В – вершинные овраги, Д – донные овраги, ПБ – прибалочные овраги, ПВ – приводораздельные овраги, ПД – придолинные овраги.

Из анализа был исключен единственный овраг пойменного типа, который образовался на пойме реки Билибка (правый приток р. Шаркан) на ключевом участке у д. Пужьегурт Шарканского района. С 2012 г. овраг прекратил свой рост и начал зарастать вследствие разных причин (уменьшение стока с водосбора, трансформация землепользования и др.).

Из табл. 1 видно, что наибольшие средние глубины характерны для донных и прибалочных оврагов, а средние значения ширины более высокие у донных и вершинных оврагов. Анализ статисти-

ческих данных показывает, что значения моды и медианы близки к средним арифметическим только для приводораздельных и придолинных оврагов. В случае других типов оврагов они намного ниже, то есть совокупность неоднородна и содержит экстремальные значения. Асимметрия практически во всех случаях является положительной, то есть в распределении чаще встречаются значения меньше среднего. Исключением здесь является глубина прибалочных оврагов, где асимметрия имеет отрицательное значение. По относительно не высоким значениям коэффициента вариации можем судить о качественной неоднородности всех рассматриваемых совокупностей типов оврагов.

Вариации средних годовых значений глубины вершинного уступа оврага и его ширины изменяются в меньших пределах (рис. 1). Анализ рисунка показывает, что графики средних значений анализируемых показателей существенно различаются. Если глубина вершинного уступа оврага имеет наибольшие значения в начальные годы исследуемого периода, затем значения глубин постепенно уменьшаются, а в последние годы интенсивность снижения глубин возрастает. Совершенно другая ситуация отмечается с шириной привершинной части оврага. В данном случае в начальный период наблюдается резкое уменьшение ширины оврагов, затем значения длительное время мало изменяются и наконец, в последние 5 лет отмечается резкое увеличение ширины. Такое изменение ширины можно объяснить тем, что в последние годы отмечается общая тенденция затухания роста большинства оврагов, при этом вершинная часть не растет в длину, а происходит обрушение и оползание стенок оврага за счет гравитационных и других экзогенных процессов, что в конечном итоге приводит к уменьшению глубины и возрастанию ширины оврага в вершинной его части.

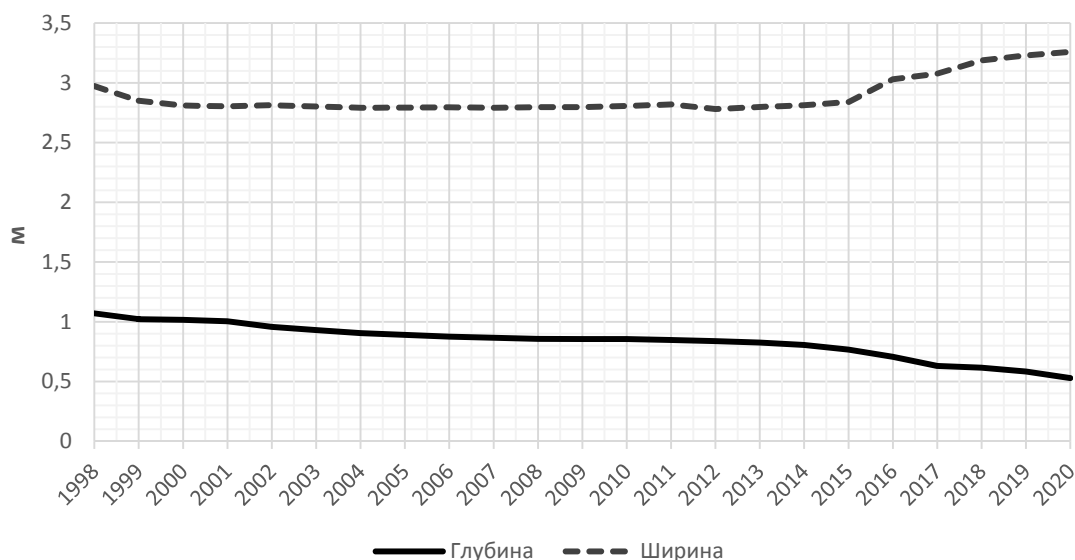


Рис. 1. Изменение средних глубин вершинного уступа оврагов и их ширины за период с 1998 по 2020 гг. на территории УР

Для всех рассматриваемых типов оврагов были рассчитаны корреляционные связи между ежегодными линейными величинами их прироста и показателями глубины вершинного уступа и ширины оврага в его верхней части. Поскольку рассматриваемые зависимости не всегда являются прямолинейными, то, наряду с обычным коэффициентом корреляции (r), были вычислены и дополнительные показатели – корреляционное отношение (η) и квадрат корреляционного отношения (η^2). Проверка гипотезы о форме связи между анализируемыми переменными осуществлялась с помощью критериев Блекмана и Фишера [13]. Применялся и традиционный сравнительно-географический анализ при сопоставлении аналогичных связей в первый период наблюдений.

Результаты и их обсуждение

Ранее нами уже рассчитывалась зависимость скорости роста различных типов оврагов от глубины вершинного уступа. При этом связи получились достаточно высокими, возможно потому, что теснота связи определялась по данным за 1997 г., когда все овраги активно развивались [1]. За рассматриваемый многолетний период данные зависимости определяются впервые. Анализ данных за

период 1998–2020 гг. показывает, что между средней глубиной и средней скоростью линейного прироста оврагов существует достаточно надежная корреляционная связь ($r=0,570$) (рис. 2). Рассмотрим, как изменяются полученные связи в зависимости от типов оврагов.

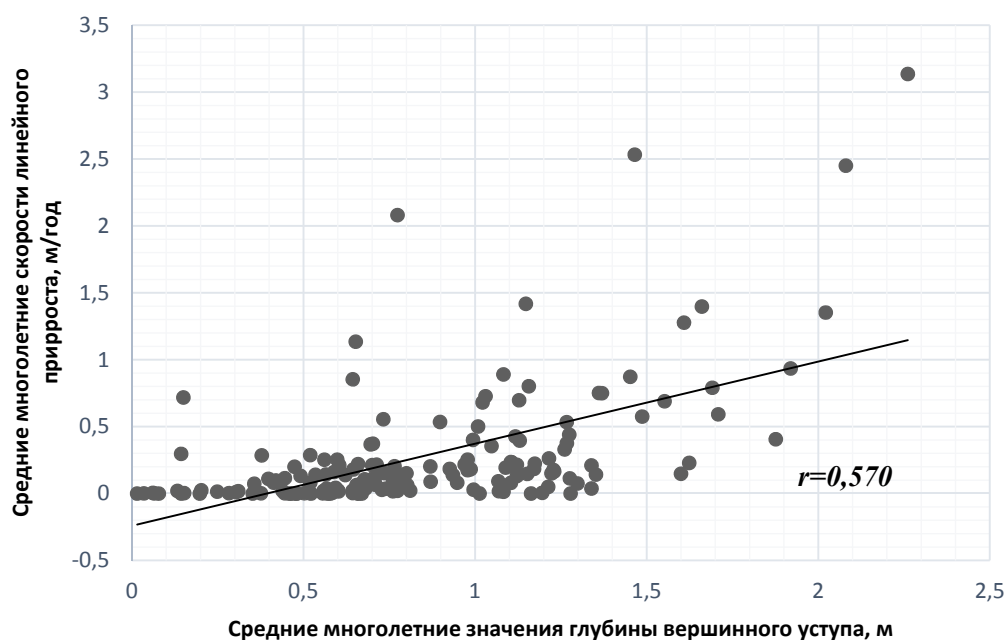


Рис. 2. График зависимости линейного прироста оврагов от средней глубины вершинного уступа за период 1998–2020 гг. на территории УР

Корреляционный анализ показал, что наибольшая связь с анализируемым показателем характерна для линейного прироста донных оврагов ($r=0,752$) (рис. 3), что значительно выше, чем за 1997 г. ($r=0,55$). Возможно, что такое увеличение можно объяснить тем, что в первый период наблюдения практически все овраги активно развивались, в рассматриваемый период их средняя скорость роста уменьшилась по сравнению с начальным периодом более, чем в четыре раза [14]. Можно предположить, что средние скорости роста донных оврагов за многолетний период обеспечили существенное увеличение роли рассматриваемого показателя, по сравнению с зависимостью, полученной за однолетний период. Следует учесть, что достоверную зависимость по условиям одного года получить достаточно сложно, поэтому анализ зависимости за многолетний период более объективен и надежен.



Рис. 3. График зависимости линейного прироста донных оврагов от средней глубины вершинного уступа за период 1998–2020 гг. на территории УР

На втором месте по тесноте связи между анализируемыми показателями оказались вершинные овраги ($r=0,688$) (рис. 4). Показатель связи за рассматриваемый период также оказался чуть выше, чем в предыдущий период ($r=0,681$), когда роль морфометрических факторов анализировалась за 1997 г. Полученные близкие зависимости еще раз подтверждают существование тесных связей между рассматриваемыми показателями, независимо от продолжительности периода исследования.

Вершинные овраги, имея значительную глубину вершинного уступа, характеризовались и высокими скоростями роста, поскольку от глубины вершинного уступа во многом зависит сила вертикально падающего столба воды и его размывающая способность. Вершинные и приводораздельные овраги с глубокими вершинными уступами за счет регрессивной эрозии (даже при отсутствии стока) в редких случаях могут достигать водоразделов и даже пересечь водораздельную линию.

Достаточно тесная связь с глубиной вершинного уступа была обнаружена также у придолинных оврагов ($r=0,674$) (рис. 5). При анализе рассматриваемых показателей за 1997 г. придолинные овраги были распределены на две группы: 1) размывающие четвертичные отложения и 2) размывающие коренные верхнепермские породы. Для второй группы связь оказалась более существенной ($r=0,788$), чем для первой ($r=0,433$) [1]. Средние показатели связи для обеих групп оказались близки к современным, полученным для всех придолинных оврагов за многолетний период.

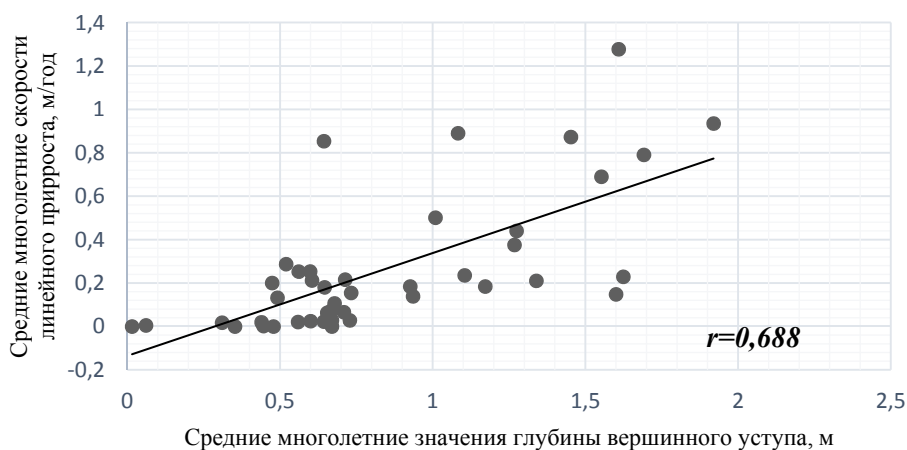


Рис. 4. График зависимости линейного прироста вершинных оврагов от средней глубины вершинного уступа за период 1998–2020 гг. на территории УР

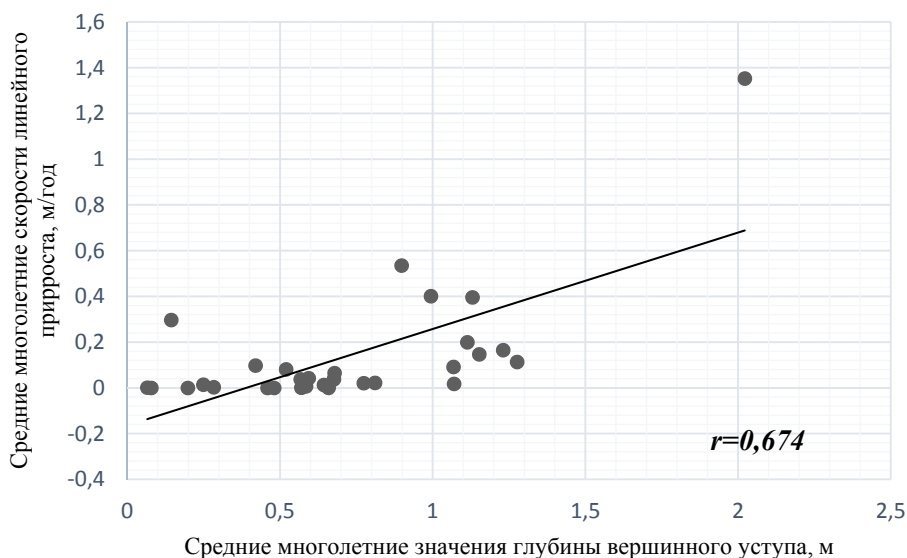


Рис. 5. График зависимости линейного прироста придолинных оврагов от средней глубины вершинного уступа за период 1998–2020 гг. на территории УР

Слабая умеренная связь с глубиной вершинного уступа была установлена для приводораздельных оврагов ($r=0,485$) (рис. 6). В предыдущий анализ зависимость между рассматриваемыми показателями была более высокой ($r=0,790$), что легко объясняется особенностями прироста оврагов в 1997 г. Тесную зависимость обеспечил в указанный год приводораздельный овраг на ключевом участке у д. Старые Быги, имевший глубину вершинного уступа более 4 м и выросший на 9,6 м за год. Летом 2000 г. овраг был засыпан грунтом и залужен, в последующие годы здесь стихийно сформировалась несанкционированная свалка твердых коммунальных отходов. Так, если в 1999 г. овраг вырос на 3,8 м, то в последующие 17 лет прирост его был нулевым, в последние 4 года овраг вновь активизировался.

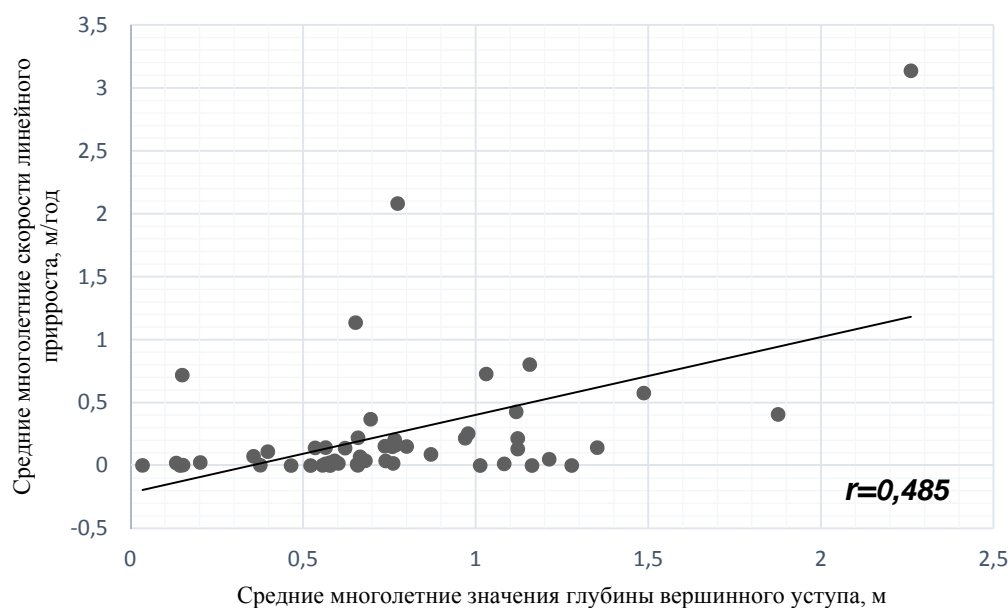


Рис. 6. График зависимости линейного прироста приводораздельных оврагов от средней глубины вершинного уступа за период 1998–2020 гг. на территории УР

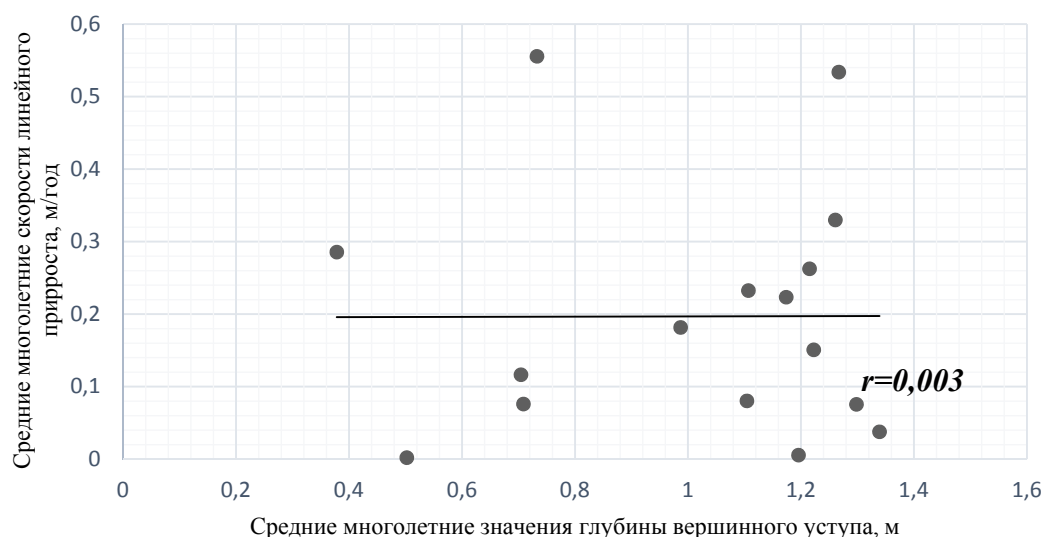


Рис. 7. График зависимости линейного прироста прибалочных оврагов от средней глубины вершинного уступа за период 1998–2020 гг. на территории УР

Не обнаружена связь с глубиной вершинного уступа лишь у прибалочных оврагов ($r=0,003$) (рис. 7). Отсутствие связи можно объяснить малой величиной вариации глубин оврагов, не превышающих 1,4 м, и относительно низкими при этом скоростями их роста. Полевые наблюдения показывают, что интенсивный рост прибалочных оврагов отмечается, как правило, в первые годы их появ-

ления, в последующие годы их активность не высокая, приросты близки к нулевым или находятся в пределах 0,1-0,3 м в год. Прирост их более чем на 0,5 м в год зарегистрирован лишь в двух случаях. В первый период исследования прибалочные овраги в анализ не были включены, поскольку их малая выборка не обеспечивала надежную репрезентативность.

На втором этапе исследования анализировалась зависимость линейного прироста различных типов оврагов от ширины их вершинной части. При анализе среднегодовых скоростей роста всех оврагов от средней ширины их вершины обнаружилась умеренная положительная связь ($r=0,389$) (рис. 8). Анализ рассматриваемых показателей за столь продолжительный период наблюдений осуществляется впервые, при этом обнаружилась довольно интересная особенность: достоверная положительная значимая связь обнаружилась только для вершинных оврагов ($r=0,582$) (рис. 9). Возможно именно вершинные овраги, достигая пределов своего роста при приближении к водоразделам и имея при этом значительные величины вершинных уступов, замедляют линейный прирост и начинают расширяться в вершинной части за счет экзогенных процессов на их отвесных бортах (обрушение карнизов, оползание, обваливание, осыпание и т. п.). Такие процессы на отвесных стенках оврагов можно наблюдать даже при отсутствии стока, для проявления указанных процессов достаточно наличия переувлажненных почво-грунтов. Подобная ситуация описана нами ранее для вершинного оврага на ключевом участке в окрестностях с. Варзи-Ятчи Алнашского района [15].

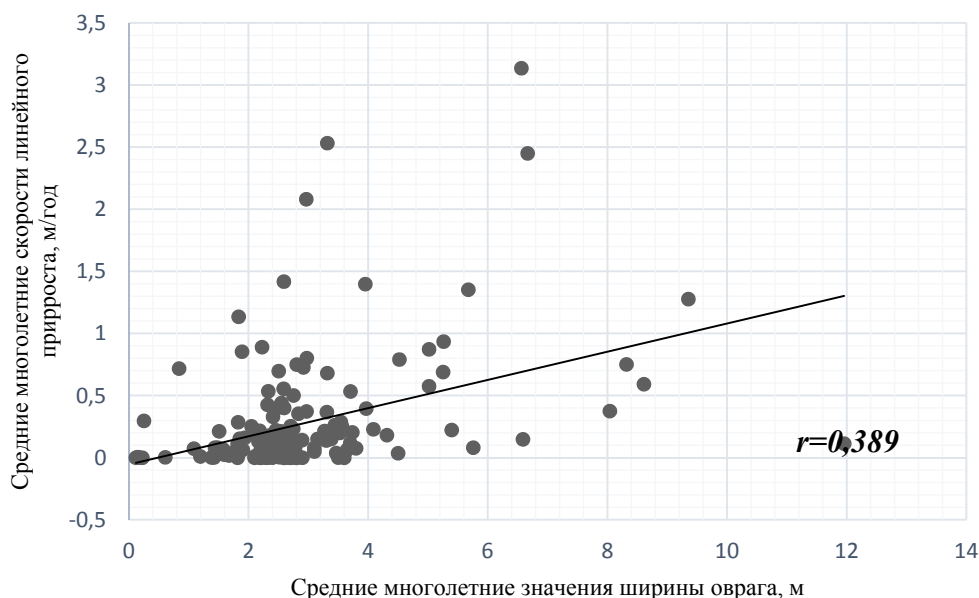


Рис. 8. График зависимости линейного прироста оврагов от средней ширины их вершинной части за период 1998–2020 гг. на территории УР

Тенденция активизации развития вторичных (донных и вершинных) оврагов обнаруживается и на других ключевых участках. Более значительные темпы прироста донных и вершинных оврагов позволяют предположить, что, несмотря на резкое сокращение или почти полное исчезновение поверхностного стока со склонов, вследствие увеличения теплых зим в днищах сухих долин, где формируются донные врезы, в период снеготаяния происходит выклинивание внутрпочвенного стока. Именно он в основном формирует временные водотоки, способствующие постепенному регрессивному отступанию вершин донных оврагов и их расширению [16]. Исследования 90 овражных систем в Португалии также показали, что они выросли в основном за счет массовых размывов отложений в привершинных и боковых стенках, под влиянием подповерхностных вод [17].

Особенно актуальны подобные процессы для оврагов, размывающих делювиально-солифлюкционные суглинки. За счет расширения вершинной части приводораздельные овраги увеличивают площадь своего водосбора и тем самым ускоряют свой рост. В нашем случае связь прироста приводораздельных оврагов от их ширины при вершине оказалась недостаточно высокой ($r=0,485$) (рис. 10), что можно объяснить общим снижением скорости прироста рассматриваемых оврагов в последние годы при возрастании их ширины при вершине.

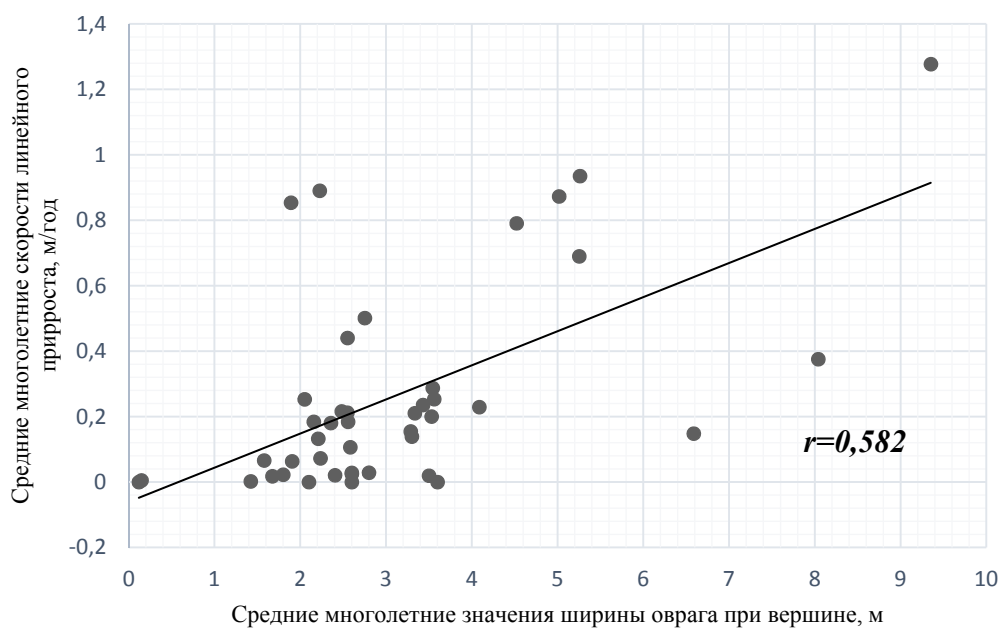


Рис. 9. График зависимости линейного прироста вершинных оврагов от средней ширины их вершинной части за период 1998–2020 гг. на территории УР

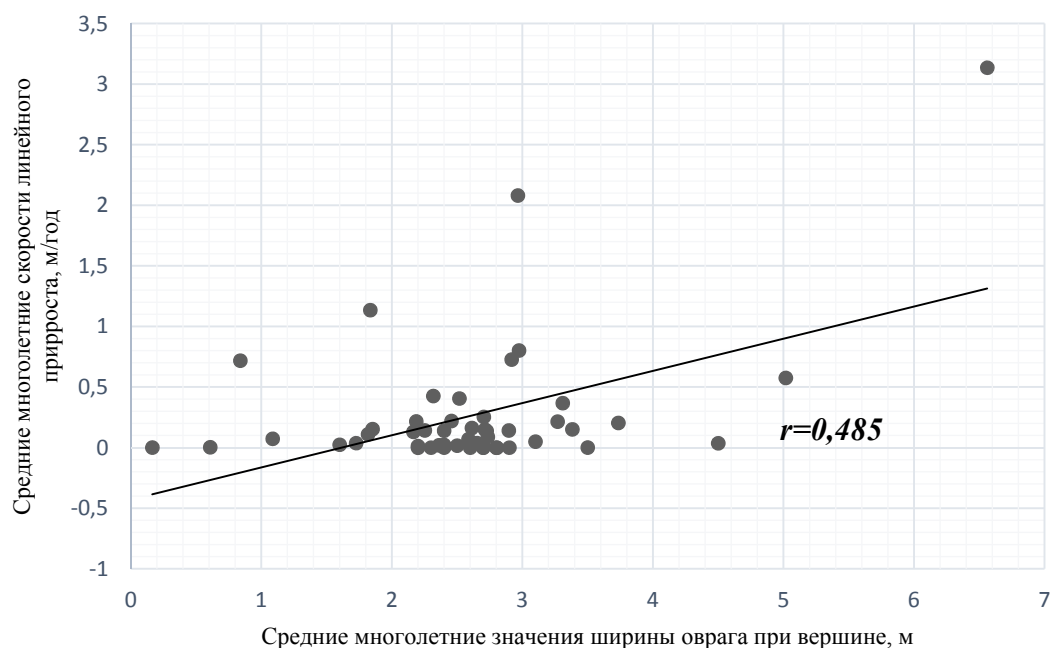


Рис. 10. График зависимости линейного прироста приводораздельных оврагов от средней ширины их вершинной части за период 1998–2020 гг. на территории УР

Установлена положительная, но слабая связь прироста донных оврагов от ширины их вершинной части ($r=0,335$), поскольку донные овраги чаще растут одной вытянутой языковидной вершиной, нежели округлой или булавовидной. Но общая тенденция возрастания ширины оврагов в последние годы характерна и для донных оврагов. Факты расширения вершин оврагов все же более характерны для вершинных и приводораздельных оврагов.

Не выявлена достоверная связь с рассматриваемыми показателями у придолинных оврагов ($r=0,298$). Возможно, это объясняется тем, что большинство придолинных оврагов в настоящее время находятся на последних стадиях развития и рост их обеспечивается преимущественно, за счет значи-

тельной крутизны склонов долин и, как было установлено выше, вследствие глубины их вершинных уступов. Во всех вышеперечисленных случаях расчеты критериев Блекмана и Фишера показали отсутствие значимых криволинейных связей между рассматриваемыми показателями, поэтому в анализе были использованы только коэффициенты корреляции. Достоверность полученных показателей связи оценивается на уровне не менее 95 %.

Как и в случае с глубиной вершинного уступа, не обнаружена связь прироста прибалочных оврагов и от их ширины в вершинной части. Причина отсутствия зависимости рассматриваемых показателей объясняется затуханием их активности за рассматриваемый период и отсутствием глубоких уступов при их вершинах, что не обеспечивает их расширение за счет обрушения бровок в результате регрессивной эрозии.

Общеизвестно, что скорость роста оврагов зависит не только от гидрометеорологических условий года и морфометрических особенностей оврага и его водосбора, но и от состава размываемых пород [1; 3; 18; 19]. Поэтому нами дополнительно была предпринята попытка установления рассматриваемых зависимостей не только для разных типов оврагов, но и для различных групп размываемых пород. Ранее нами было установлено, что максимальные скорости характерны для оврагов, размывающих плейстоценовые перигляциальные аллювиальные отложения (2,45 м/год). Относительно высокие скорости роста для рассматриваемого временного ряда отмечены в группах оврагов, размывающих и другие отложения плейстоценового возраста: делювиально-солифлюкционные суглинки и балочный аллювий суглинисто-глинистого состава [19]. В данном случае корреляционный анализ показал, что ни с одной из шести рассматриваемых групп литологического комплекса связь скорости роста оврагов от глубины оврага при вершине не выявлена. Зато установлена очень высокая достоверная связь между скоростью роста оврагов и его шириной при вершине для оврагов, размывающих плейстоценовый перигляциальный аллювий ($r=0,921$), и слабая положительная связь для оврагов, размывающих верхнепермские глинистые отложения с прослоями более прочных пород ($r=0,455$) и комплекс балочных отложений суглинисто-глинистого состава ($r=0,424$).

Заключение

При анализе влияния морфометрических характеристик вершинной части оврага на скорость отступления его вершины для различных типов оврагов выявлены следующие особенности:

1. Глубина вершинного уступа оврага имеет наибольшие величины в начальные годы наблюдаемого периода, затем значения глубин постепенно уменьшаются, в последние годы интенсивность снижения глубин возрастает. Противоположная ситуация отмечается для ширины привершинной части оврагов. Для них в начальный период наблюдается резкое уменьшение ширины оврагов, затем значения длительное время мало изменяются и, наконец, в последние 5 лет отмечается резкое увеличение ширины.

2. Анализ данных за период 1998–2020 гг. показал, что между средней глубиной и средней скоростью линейного прироста оврагов существует достаточно надежная корреляционная связь ($r=0,570$). Наибольшая связь с анализируемым показателем характерна для линейного прироста донных оврагов ($r=0,752$), на втором месте по величине связи оказались вершинные овраги ($r=0,688$). Достаточно тесная связь с глубиной вершинного уступа была обнаружена также у придолинных оврагов ($r=0,674$). Слабая умеренная связь между анализируемыми признаками выявлена у приводораздельных оврагов ($r=0,485$). Отсутствие связи было отмечено лишь у прибалочных оврагов.

3. При анализе среднегодовых скоростей роста всех оврагов от средней ширины их вершины обнаружилась слабая положительная связь ($r=0,389$). При этом достоверная существенная связь обнаружилась только для вершинных оврагов ($r=0,582$). Надежная умеренная связь установлена для приводораздельных оврагов ($r=0,485$) и слабая положительная связь выявлена для донных ($r=0,335$) и очень слабая – для придолинных оврагов ($r=0,298$). Связь не обнаружена лишь у прибалочных оврагов, большинство которых за рассматриваемый период находится в стадии затухания и характеризуются минимальными скоростями роста.

4. Данные корреляционного анализа не выявили связь между скоростью роста оврагов и глубиной вершинного уступа ни для одной из рассматриваемых литологических групп размываемых пород. Установлена очень высокая положительная связь между скоростью роста оврагов и его шириной при вершине для оврагов, размывающих плейстоценовый перигляциальный аллювий ($r=0,921$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рысин И.И. Овражная эрозия в Удмуртии. Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 1998. 274 с.
2. География овражной эрозии / под ред. Е.Ф. Зориной. М.: Изд-во МГУ, 2006. 324 с.
3. Овражная эрозия востока Русской равнины / под ред. А.П. Дедкова. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1990. 143 с.
4. Григорьев И.И., Рысин И.И. Исследования техногенных и сельскохозяйственных оврагов в Удмуртии // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2006. № 2. С. 83-91.
5. Григорьев И.И. Пространственно-временной анализ скоростей роста техногенных оврагов на территории Удмуртии // Эрозия почв, овражная эрозия, русловые процессы: теоретические и прикладные вопросы. Москва: Географический факультет МГУ, 2011. С. 90-99.
6. Рысин И.И., Григорьев И.И., Зайцева М.Ю. Результаты исследований овражной эрозии в Удмуртии за последние два десятилетия // Наука Удмуртии. 2015. № 3(73). С. 150-164.
7. Рысин И.И., Голосов В.Н., Григорьев И.И., Зайцева М.Ю. Влияние изменений климата на динамику темпов роста оврагов Вятско-Камского междуречья // Геоморфология. 2017. № 1. С. 90-103.
8. Григорьев И.И., Рысин И.И. Роль геоморфологических факторов в развитии оврагов в Удмуртии // Эрозионно аккумулятивные процессы в бассейне Верхней и Средней Волги / под ред. И.И. Рысина, Р.С. Чалова. Ижевск, 2005. С. 41-52.
9. Акмаров П.Б., Князева О.П., Рысин И.И. Агроклиматический потенциал эффективности земледелия // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2014. Вып. 2. С. 89-96.
10. Vanmaercke M., Poesen J., Van Mele B., Demuzere M., Bruynseels A., Golosov V., Bezerra J.F.R., Bolysov S., Dvinskih A., Frankl A., Fuseina Y., Guerra A.J.T., Haregeweyn N., Ionita I., Makanzu Imwangana F., Moeeyersons J., Moshe I., Nazari Samani A., Niacsu L., Nyssen J., Otsuki Y., Radoane M., Rysin I., Ryzhov Y.V., Yermolaev O. How fast do gully headcuts retreat? Earth-Science Reviews, 2016. № 154. P. 336-355.
11. Рыжов Ю.В. Формирование оврагов на юге Восточной Сибири / Рос. Акад. Наук, Сибирское отд., Институт географии им. В.Б. Сочавы. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2015. 180 с.
12. Зайцева М.Ю., Рысин И.И. Влияние геолого-геоморфологических факторов на рост оврагов в Удмуртии // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2017. Т. 27, вып. 1. С. 87-97.
13. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.
14. 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.
15. Оценка современного роста вершин оврагов южного мегасклона Восточно-Европейской равнины с применением набора инструментальных методов / А.М. Гафуров, И.И. Рысин, В.Н. Голосов, И.И. Григорьев, А.Г. Шарифуллин // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2018. № 5. С. 61-71.
16. Рысин И.И., Григорьев И.И., Зайцева М.Ю., Голосов В.Н. Линейный прирост оврагов Вятско-Камского междуречья на рубеже XX и XXI столетий // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2017. № 1. С. 63-72.
17. Raffaello B., Reis E. Controlling factors of the size and location of large gully systems: A regression based exploration using reconstructed pre-erosion topography. Catena, 2016. 147. P. 621-631.
18. Назаров Н.Н. Овражная эрозия в Прикамье. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1992. 104 с.
19. Зайцева М.Ю., Рысин И.И. Влияние геолого-геоморфологических факторов на рост оврагов в Удмуртии // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2017. Т. 27, вып. 1. С. 87-97.

Поступила в редакцию 17.02.2021

Рысин Иван Иванович, доктор географических наук, профессор,
заведующий кафедрой экологии и природопользования
E-mail: rysin@udsu.ru

Зайцева Марина Ивановна, магистрант кафедры Экология и природопользование
E-mail: luckylive@mail.ru

Сунцов Дмитрий Александрович, магистрант кафедры Экология и природопользование
E-mail: suntsov.dmitrii@mail.ru

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»
426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1 (корп. 1)

I.I. Rysin, M.I. Zaytseva, D.A. Suntsov

**INFLUENCE OF MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF GULLIES
ON THE RATE OF THEIR GROWTH IN THE TERRITORY OF UDMURTIA**

DOI: 10.35634/2412-9518-2021-31-1-76-87

The results of the correlation analysis of the influence of the width and depth of the head ledge of gullies on the rate of their annual growth in the territory of the Udmurt Republic are presented. The data were obtained on the basis of monitoring 168 heads of various types of gullies for the period from 1998 to 2020, located in different landscape and geomorphological conditions of the republic. The table shows statistical data of morphometric indicators for 5 types of gullies. The graphs show the variations in the average annual values of the depth of the head ledge of all ravines and their width over the period under review. A gradual decrease in the depth of the head ledges and a general positive trend in their width have been established, which is particularly evident in the last 5 years of observations. The correlation analysis showed that there is a fairly reliable correlation between the average depth and the average rate of linear growth of gullies ($r=0,570$). The greatest relationship with the analyzed indicator is characteristic of the linear growth of bottom gullies ($r=0,752$), while the second place was taken by the vertex gullies ($r=0,688$). A fairly close relationship with the depth of the head ledge was also found in the near-valley gullies ($r=0,674$). When analyzing the average annual growth rates of all gullies from the average width of their heads, a weak relationship was found ($r=0,389$). At the same time, a reliable significant relationship was found only for the head ravines ($r=0,582$). A reliable moderate relationship was established for the near-watershed gullies ($r=0,485$) and a weak positive relationship was found for the bottom gullies ($r=0,335$). In both cases, the connection was not found only with the gulch ravines. The considered dependences were also calculated for 6 groups of ravines that erode various lithological complexes of sediments.

Keywords: growth of gullies, depth of the head ledge of gully, width of gully, correlation analysis, monitoring, Udmurtia.

REFERENCES

1. Rysin I.I. *Ovrazhnaya eroziya v Udmurtii* [Gully erosion in Udmurtia], Izhevsk: Udmurt. Gos. Univ., 1998, 274 p. (in Russ.).
2. *Geografiya ovrazhnoy erozii* [Geography of gully erosion], Zorina E.F. (ed), Moscow: MGU Publ., 2006, 324 p. (in Russ.).
3. *Ovrazhnaya eroziya vostoka Russkoy ravniny* [Gully erosion of the east of the Russian plain], Dedkov A.P. (ed), Kazan: Kazan. Univ. Publ., 1990, 143 p. (in Russ.).
4. Grigor'ev I.I., Rysin I.I. [Study of technogenic and agricultural gullies in Udmurtia], in *Zaytseva M.Yu., Rysin I.I.*, 2006, no. 2, pp. 83–91 (in Russ.).
5. Grigor'ev I.I. [Spatiotemporal analysis of the growth rates of technogenic gullies in the territory of Udmurtia], in *Eroziya pochv, ovrazhnaya eroziya, ruslovye protsessy: teoreticheskie i prikladnye voprosy*. Moscow: Geograficheskiy fakul'tet MGU, 2011, pp. 90-99 (in Russ.).
6. Rysin I.I., Grigor'ev I.I., Zaytseva M.Yu. [Results of research on gully erosion in Udmurtia over the past two decades], in *Nauka Udmurtii*, 2015, no. 3(73), pp. 150–164 (in Russ.).
7. Rysin I.I., Golosov V.N., Grigor'ev I.I., Zaytseva M.Yu. [Influence of climate change on the rates of gully growth in the Vyatka-Kama watershed], in *Geomorfologiya*, 2017, no. 1, pp. 90-103 (in Russ.).
8. Grigor'ev I.I., Rysin I.I. [The role of geomorphological factors in the development of gullies in Udmurtia], in *Eroziionno akkumulativnyye protsessy v bassejne Verkhney i Sredney Volgi*, Rysin I.I. and Chalov R.S. (ed), Izhevsk, 2005, pp. 41-52 (in Russ.).
9. Akmarov P.B., Knyazeva O.P., Rysin I.I. [Agroclimatic potential of efficiency of agriculture (illustrated by the example of grain crops of Udmurtiya)], in *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biol. Nauki o Zemle*, 2014, iss. 2, pp. 89-96 (in Russ.).
10. Vanmaercke M., Poesen J., Van Mele B., Demuzere M., Bruynseels A., Golosov V., Bezerra J.F.R., Bolysov S., Dvinskikh A., Frankl A., Fuseina Y., Guerra A.J.T., Haregeweyn N., Ionita I., Makanzu Imwangana F., Moeyersons J., Moshe I., Nazari Samani A., Niacsu L., Nyssen J., Otsuki Y., Radoane M., Rysin I., Ryzhov Y.V., Yermolaev O. How fast do gully headcuts retreat? *Earth-Science Reviews*, 2016, no. 154, pp. 336–355.
11. Ryzhov Yu.V. *Formirovanie ovragov na yuge Vostochnoy Sibiri* [Formation of gullies in the south of Eastern Siberia], Novosibirsk: Akademicheskoe izd-vo "Geo", 2015, 180 p. (in Russ.).
12. Zaytseva M.Yu., Rysin I.I. [Influence of geological and geomorphological factors on the gully growth rates in Udmurtia], in *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biol. Nauki o Zemle*, 2017, vol. 27, iss. 1, pp. 87-97 (in Russ.).
13. Lakin G.F. *Biometriya* [Biometrics], Moscow: Vysshaya shkola, 1990, 352 p. (in Russ.).
14. Rysin I.I., Golosov V.N., Grigor'ev I.I., Zaytseva M.Yu. [On the causes in the contemporary decline in the gully head retreat rates in Udmurtia], in *Geomorfologiya*, 2018, no. 1, pp. 75–87 (in Russ.).

15. Gafurov A.M., Rysin I.I., Golosov V.N., Grigor'ev I.I., Sharifullin A.G. [Estimation of the recent rate of gully headretreat on the southern megaslope of the East European plain using a set of instrumental methods], in *Vestnik Mosk. Univ., Ser. 5. Geografiya*, 2018, no. 5, pp. 61-71 (in Russ.).
16. Rysin I.I., Grigor'ev I.I., Zaytseva M.Yu., Golosov V.N. [Linear growth of the gullies within the Vyatka-Kama interfluvium at the turn of the 20th century], in *Vestnik Mosk. Univ., Ser. 5. Geografiya*, 2017, no. 1, pp. 63–72 (in Russ.).
17. Raffaello B., Reis E. Controlling factors of the size and location of large gully systems: A regression based exploration using reconstructed pre-erosion topography. *Catena*, 2016, 147, pp. 621–631.
18. Nazarov N.N. *Ovrazhnaya eroziya v Prikam'e* [Gully erosion in the Kama region], Perm': Perm. Univ., 1992, 104 p. (in Russ.).
19. Zaytseva M.Yu., Rysin I.I. [Influence of geological and geomorphological factors on the gully growth rates in Udmurtia], in *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biol. Nauki o Zemle*, 2017, vol. 27, iss. 1, pp. 87–97 (in Russ.).

Received 17.02.2021

Rysin I.I., Doctor of Geography, professor, Head of Department of Ecology and Environmental Management

E-mail: rysin@udsu.ru

Zaytseva M.I., master student of Department of Ecology and Environmental Management

E-mail: luckylive@mail.ru

Suntsov D.A., master student of Department of Ecology and Environmental Management

E-mail: suntsov.dmitrii@mail.ru

Udmurt State University

Universitetskaya st., 1/1, Izhevsk, Russia, 426034