

## Физико-географические исследования

УДК 551.435 (470.51)

*М.Ю. Зайцева, И.И. Рысин*

### ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РОСТ ОВРАГОВ В УДМУРТИИ<sup>1</sup>

В статье анализируются скорости роста различных типов оврагов за период с 1998 по 2015 годы в зависимости от геолого-геоморфологических факторов (состав размываемых пород, площадь вершинного водосбора оврага, длина и средний уклон линии стока, глубина местного базиса эрозии, средний уклон и экспозиция склона). Аналогичные зависимости для временного ряда с 1978 по 1997 годы, полученные нами ранее [1; 2], используются лишь для сопоставления. Для анализа используются показатели прироста 168 вершин сельскохозяйственных (агрогенных) оврагов, развивающихся в различных геолого-геоморфологических условиях территории Удмуртской Республики. Установлено, что наиболее интенсивно развиваются овраги в рыхлых суглинистых породах, приуроченных к склонам холодных румбов. Высокие положительные связи обнаружены для приводораздельных оврагов с площадью водосборов ( $r = 0,878$ ), глубинами местных базисов эрозии ( $r = 0,749$ ) и длинами линий стока ( $r = 0,733$ ). Высокие показатели связи также выявлены между скоростью роста придолинных оврагов и глубинами местных базисов эрозии ( $r = 0,710$ ).

*Ключевые слова:* Удмуртская Республика, рост оврагов, состав размываемых пород, геоморфологические условия, математико-статистический анализ.

Овражная эрозия является одним из наиболее опасных природно-техногенных рельефообразующих процессов, наносящих большой ущерб земледелию и окружающему ландшафту. Овраги осуществляют размыв, транзит и аккумуляцию отложений с их водосборов, способствуют поступлению продуктов смыва в русла временных и постоянных водотоков [3]. Они изымают из оборота пригодные для распашки, строительства и других нужд земли, иссушают территорию, способствуют разрушению коммуникаций и сооружений, заиливанию русел и пойм. Для научно обоснованной борьбы с оврагами, прогнозирования их роста и получения количественных характеристик их сезонного и ежегодного приростов необходимы длительные полевые наблюдения.

Динамика овражных форм в различных регионах изучалась многими исследователями. Наиболее ранние сведения о росте оврагов содержатся в работах Э.Э. Керн [4], В.И. Масальского [5]. Обобщенные исследования по оврагам Среднерусской возвышенности сделаны М.В. Проницовой [6]. Вопросам динамики оврагов большое внимание уделялось А.С. Козменко [7], Б.Ф. Косовым [8; 9], А.Г. Рожковым [10], С.С. Соболевым [11] и многими другими исследователями [12-17].

Многолетние исследования овражной эрозии проводятся на территории Удмуртской Республики (УР), расположенной на востоке Русской равнины, в зоне ландшафтов южной тайги и смешанных хвойно-широколиственных лесов, сильно преобразованных хозяйственной деятельностью. Площадь Республики составляет 42,1 тыс. км<sup>2</sup>.

Междуречные пространства здесь сложены лёссовидными делювиально-солифлюкционными суглинками, тогда как днища балок, прорезаемые донными оврагами, – отложениями смытых с междуречных пространств наносов тяжелосуглинистого состава. Ряд придолинных оврагов формируются в верхнепермских глинах с прослоями более прочных пород (известняков, мергелей, аргиллитов, песчаников и т. п.).

Анализ распределения глубин местных базисов эрозии свидетельствует о резко дифференцированном характере вертикального расчленения территории. Своего максимума (127 м) она достигает вдоль правобережья р. Камы. В пределах Верхнекамской возвышенности, несмотря на большие значения абсолютных отметок ее поверхности (максимум 322,6 м), величина вертикального расчленения ниже – в среднем около 80 м. Средняя глубина расчленения Кильмезской низменности – 67 м.

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РНФ № 15-17-20006.

### Материалы и методика исследований

В пределах исследуемой территории в целях изучения механизма оврагообразования и получения количественных характеристик сезонного и ежегодного приростов вершин 168 агрогенных оврагов ведутся многолетние полустационарные наблюдения на 28 ключевых участках (рис. 1), расположенных в различных ландшафтных условиях [1].

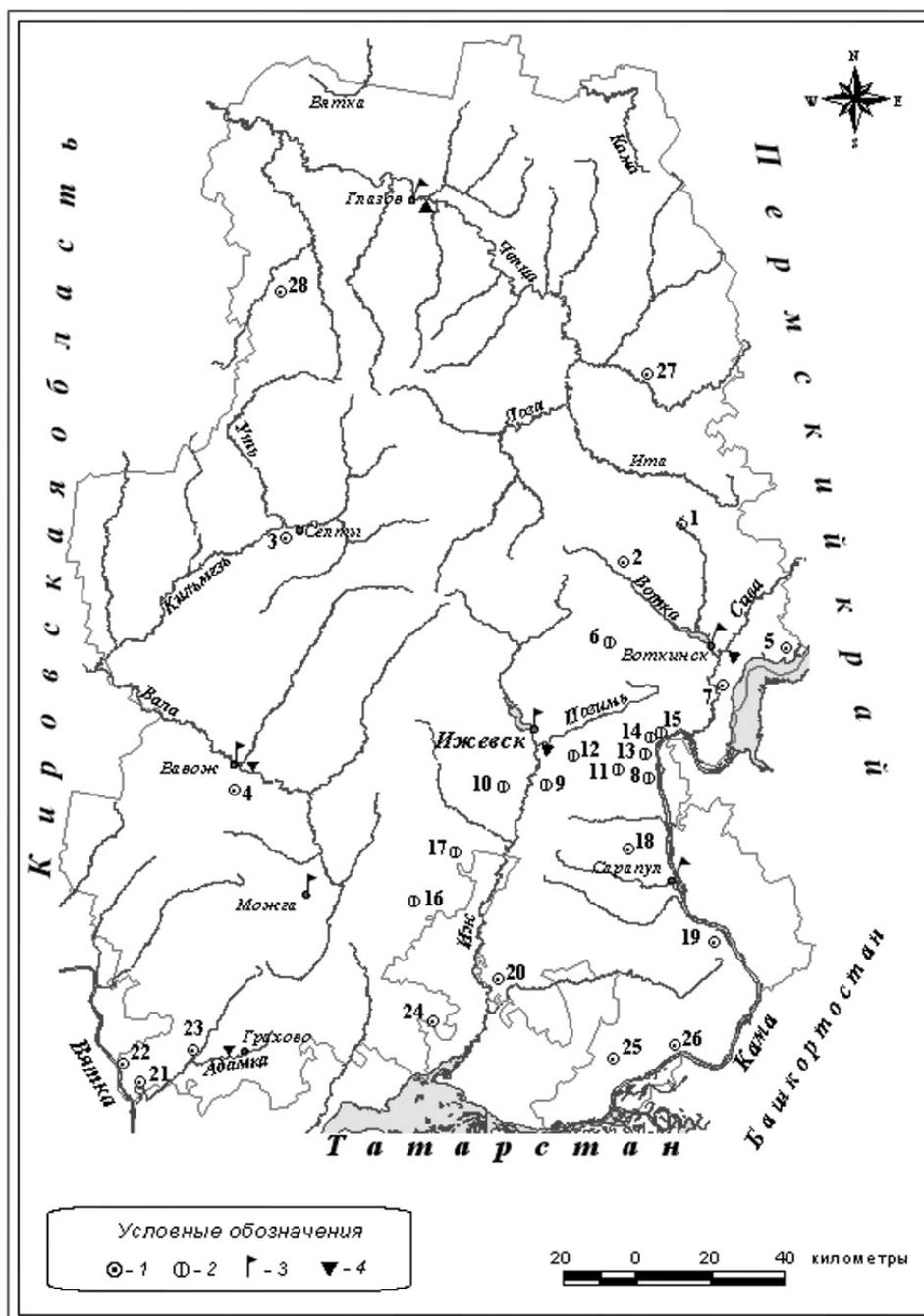


Рис. 1. Расположение ключевых участков по мониторингу овражной эрозии на территории Удмуртской Республики.

Условные обозначения: 1 – ежегодные наблюдения (июль - август), 2 – сезонные наблюдения 2 раза в год (май и октябрь), 3 – расположение метеостанций, 4 – расположение гидропостов.

Определение скорости роста оврагов производится путем измерения расстояния от вершины оврага до предварительно установленного репера. Одновременно измеряются глубина вершинного уступа

и ширина оврага на расстоянии 3 м от вершины. Точность измерений составляет  $\pm 0,01$  м. Для наиболее активных оврагов применяется тахеометрическая съемка их вершинной части, которая включает съемку бровки, продольного и поперечного профилей оврага. На большинстве стационаров наблюдения проводятся один раз в год (обычно в июле или августе), на некоторых из них измерения осуществляются дважды: в мае или начале июня (после схода талых вод) и в октябре (после окончания сезона летне-осенних ливней). На двух участках (№ 6 – Черная-Светлое и № 16 – Ниж. Юри) наблюдение за приростом 9 вершин оврагов с 1990 по 1998 гг. осуществлялось эпизодически, через 1–2 года.

Все овраги, входящие в сеть мониторинга, делятся на две группы: первичные и вторичные [11]. Первичные овраги, в свою очередь, нами разделены на три типа: приводораздельные, к которым отнесены все овраги, развивающиеся на склонах междуречных пространств, а также прибалочные и придолинные, которые различаются по месту своего развития на бортах балок и речных долин соответственно. К вторичным отнесены донные, вершинные и пойменные овраги. Среди наблюдаемых оврагов преобладают первичные (58,9 %), из которых чуть меньше половины – приводораздельные. Среди вторичных агрогенных оврагов преобладают вершинные (62,3 %).

В представленной работе проводится анализ влияния отдельных геолого-геоморфологических факторов (состав размываемых пород, площадь вершинного водосбора оврага, длина и средний уклон линии стока, глубина местного базиса эрозии, средний уклон и экспозиция склона) на темпы ежегодного прироста оврагов УР, установленных на основе мониторинга в период 1998–2015 годы 168 вершин оврагов, расположенных в различных районах республики и имеющих в основном распахиваемые водосборы. Из них 56 вершин не имеет признаков роста в течение 10 и более лет, 8 вершин оврагов прекратило свой рост в последние 5 лет. Для 36 вершин оврагов основной причиной отсутствия роста является зарастание ранее распахиваемых водосборов многолетними травами и мелкоколесьем, 11 вершин засыпано грунтом вследствие противоэрозионных мероприятий или твердыми бытовыми отходами (несанкционированные свалки). 17 оврагов исчерпали потенциал своего развития вследствие уменьшения водосбора или увеличения эрозионной устойчивости почвенно-растительного покрова водосборной площади [18].

Детальный анализ влияния геолого-геоморфологических факторов на развитие овражной эрозии имеется для временного ряда с 1978 по 1997 гг. [1; 2]. С тех пор произошли существенные изменения в сельскохозяйственном производстве и в целом в экономических отношениях. Значительные площади пахотных земель не обрабатываются и зарастают мелкоколесьем, что заметно повлияло на процессы развития овражной эрозии. Поэтому появилась необходимость проведения подобного анализа для периода с 1998 по 2015 годы.

## Результаты и их обсуждение

Геолого-геоморфологические факторы, являясь азональными, привносят значительные изменения в интенсивность развития оврагов даже на смежных территориях. Геолого-литологическое строение территории, глубины местных базисов эрозии, морфометрические характеристики склонов и их экспозиция, а также величины водосборной площади являются наиболее важными геоморфологическими условиями, влияющими на процессы овражной эрозии.

**Состав размываемых пород** и условия их залегания во многом определяют условия развития водно-эрозионных процессов на склонах, в частности оказывают важнейшее влияние на интенсивность прироста оврагов. Часто характер геолого-литологического строения определяет саму возможность развития оврагов на территории. При рассмотрении данного фактора наибольшее значение имеет сопротивляемость пород разрушительному воздействию поверхностного стока.

При изучении процессов овражной эрозии в Удмуртии все размываемые породы были объединены в шесть литолого-стратиграфических комплексов:

- 1 – Верхнепермские глинистые породы и их элювий;
- 2 – Верхнепермские глины с прослоями более прочных пород (известняков, мергелей, аргиллитов, песчаников и т.п.);
- 3 – Делювиально-солифлюкционные суглинки плейстоценового возраста;
- 4 – Перигляциальный супесчано-суглинистый аллювий плейстоценового возраста;
- 5 – Голоценовый аллювий преимущественно суглинистого состава;
- 6 – Балочный аллювий суглинисто-глинистого состава.

В рамках данного этапа исследования определены средние многолетние скорости роста оврагов по выделенным комплексам размываемых пород. Средние показатели рассчитывались как по всем имеющимся оврагам, так и без учета тех, что прекратили свой рост с 2006 г., т.е. не растущих десять и более лет. Так, выяснилось, что максимальные скорости роста (при расчетах без учета не растущих оврагов) характерны для оврагов, размывающих плейстоценовые перигляциальные аллювиальные отложения (2,45 м/год). Это, возможно, обусловлено слабым сцеплением частиц данных пород между собой вследствие близкого залегания уровня грунтовых вод. Однако уверенно руководствоваться полученным значением мы не можем из-за малой выборки – в данной группе осталось лишь два растущих оврага. Примечательно, что эти овраги находятся уже на IV стадии развития. Интенсивность их прироста за предыдущий период была незначительной.

Относительно высокие скорости роста для рассматриваемого временного ряда наблюдаем в группах оврагов, размывающих другие отложения плейстоценового возраста: делювиально-солифлюкционные суглинки (0,29/0,51 м/год; здесь и далее в числителе – показатель для всех оврагов, в знаменателе – без учета не растущих оврагов) и перигляциальный супесчано-суглинистый аллювий (0,38/2,45 м/год). Развитию процесса так же, как и в предыдущем случае, способствует высокое положение уровня грунтовых вод. При значительном увлажнении они обладают крайне низким сопротивлением к размывающей деятельности поверхностных вод. Кроме того, для делювиально-солифлюкционных суглинков характерно наличие вертикальной столбчатой текстуры, вскрывающейся на обнажениях при вершине оврага и на его склонах. Механизм ее образования описан в литературе [19]. Такая текстура обеспечивает наличие «свежих» вертикальных уступов при вершине оврага, что способствует его быстрому росту даже при незначительном стоке воды.

Наименьшие скорости роста наблюдаются в оврагах, размывающих верхнепермские глинистые породы (0,18/0,26 м/год), в том числе при переслаивании их с более прочными коренными породами: известняками, мергелями, аргиллитами, песчаниками (0,21/0,28 м/год).

Сравнение темпов линейного прироста за периоды 1978–1997 и 1998–2015 гг. для оврагов, развивающихся в разных по литологии отложениях, выявляет интересные закономерности. Наибольшее сокращение отмечается для пойменных голоценовых отложений, что однозначно связано с переходом оврага от стадии бурного роста к стадии относительной стабилизации. Напротив, минимальное сокращение темпов выявлено для оврагов, развивающихся на перигляциальном супесчано-суглинистом аллювии, что подтверждает ранее высказанное суждение о нахождении данных оврагов на завершающей стадии развития. Наиболее показательным является значительное сокращение темпов линейного прироста оврагов, заложившихся на делювиально-солифлюкционных суглинках, что однозначно указывает на то, что литологический фактор по существу не влияет на динамику линейного прироста оврагов, развивающихся на конкретных отложениях (табл. 1).

Таблица 1

**Средние многолетние скорости роста оврагов Вятско-Камского междуречья, развивающиеся в различных литологических комплексах пород (м/год)**

Литологические комплексы пород	Кол-во оврагов	1978–1997 гг.	1998–2015 гг.	Сокращение темпов	1978–2015 гг.
Верхнепермские глинистые породы и их элювий	33	0,70	0,18	3,9	0,44
Верхнепермские глины с прослоями более прочных пород (известняков, мергелей, аргиллитов, песчаников и т. п.)	42	0,80	0,21	3,8	0,51
Делювиально-солифлюкционные суглинки плейстоценового возраста	52	1,88	0,29	7,0	1,05
Перигляциальный супесчано-суглинистый аллювий плейстоценового возраста	14	0,78	0,38	2,0	0,59
Голоценовый аллювий преимущественно суглинистого состава	1	1,69	0,10	16,9	0,77
Балочный аллювий суглинисто-глинистого состава	26	1,96	0,51	3,8	1,21

Для оценки влияния литологического фактора на темпы прироста оврагов рассчитаны статистические показатели, приведенные в табл. 2.

Анализ статистических данных показывает, что значения моды и медианы близки к среднеарифметическим только для верхнепермских глинистых пород. В случае четвертичных отложений они намного ниже, то есть совокупность неоднородна и содержит экстремальные значения. Асимметрия во всех случаях является положительной, то есть в распределении чаще встречаются значения меньше среднего. По полученным значениям эксцесса видим, что графики распределения скоростей роста оврагов по всем группам размываемых пород являются островершинными, особенно в случае аллювиальных отложений. По высоким значениям коэффициента вариации можем судить о качественной неоднородности всех рассматриваемых совокупностей размываемых пород.

Таблица 2

**Статистические показатели скорости роста оврагов, размывающих различные породы, за многолетний период (1998-2015 гг.)**

Состав размываемых пород	Количество оврагов	Ср. арифметическое	Станд. ошибка	Медиана	Мода	Станд. отклонение	Дисперсия выборки	Эксцесс	Асимметричность	Коэф-т вариации
1	33	0,18	0,06	0,06	0,24	0,32	0,10	9,26	2,94	1,55
	23	0,26	0,07	0,19	0,24	0,36	0,13	6,14	2,45	1,28
2	42	0,21	0,04	0,18	0,18	0,24	0,06	4,69	2,14	1,03
	32	0,28	0,05	0,19	0,18	0,26	0,07	3,46	1,95	0,94
3	52	0,29	0,08	0,22	0,03	0,57	0,33	21,61	4,17	1,61
	31	0,51	0,12	0,27	–	0,68	0,46	15,42	3,63	1,35
4	14	0,38	0,26	0,08	0,02	0,98	0,96	11,84	3,39	2,51
	2	2,45	1,35	2,33	–	1,91	3,66	–	–	0,82
5	1	0,10	–	–	–	–	–	–	–	–
6	26	0,51	0,16	0,24	–	0,81	0,66	4,36	2,23	1,38
	24	0,63	0,17	0,27	–	0,83	0,69	3,84	2,13	1,31

*Примечание.* В числителе приведены показатели по всем изучаемым оврагам, в знаменателе – без учета оврагов, прекративших рост с 2006 года.

Среди **геоморфологических факторов** рассмотрены площади водосборных бассейнов оврагов, длины и средние уклоны линий стока, глубины местных базисов эрозии и средние уклоны склонов.

Для того, чтобы понять характер зависимости между средними многолетними скоростями роста оврагов и геоморфологическими факторами проведен корреляционный анализ, результаты которого представлены в табл. 3. Определялись следующие показатели: коэффициент корреляции ( $r$ ), корреляционное отношение ( $\eta$ ), позволяющее измерить степень криволинейных связей, коэффициент детерминации ( $\eta^2$ ), по которому судят о силе влияния факторов на результирующий признак, и критерий Блэкмана ( $B$ ) – критерий нелинейности связи (связь не линейна, если  $B > 11,37$ ) [20]. Корреляционные показатели рассчитаны для четырех типов оврагов: донного, вершинного, приводораздельного и придолинного. Пойменные и прибалочные овраги не рассматривались по причине недостаточной выборки.

Объем и концентрация поверхностного стока воды определяются, прежде всего, площадью водосбора оврага. Для наблюдаемых оврагов она варьирует в широких пределах – от 1 до 195 га.

Для рассматриваемого временного ряда площадь водосбора оказывала сильное влияние на приводораздельные овраги ( $r=0,878/0,883$ ;  $\eta=0,910/0,935$ ;  $\eta^2=0,828/0,874$ ). Весомый вклад в этой группе вносит овраг на ключевом участке «Мушак», имеющий площадь водосбора 1,6 км<sup>2</sup>, и развивающийся со значительной для исследуемой территории скоростью – 2 м/год. Однако темпы его роста, по сравнению с предыдущим периодом, когда скорость роста превышала 40 м/год, снижаются. Невысокий положительный коэффициент корреляции ( $r=0,294/0,262$ ;  $\eta=0,638/0,648$ ;  $\eta^2=0,407/0,421$ ) отмечается для донных оврагов. Для предыдущего периода эта связь проявлялась намного сильнее ( $r=0,840$ ).

Наиболее высокая связь средних скоростей роста оврагов с длиной линии стока, как и в предыдущем случае, характерна для приводораздельных оврагов ( $r=0,733/0,715$ ;  $\eta=0,913/0,946$ ;

$\eta^2=0,834/0,896$ ). Для остальных типов оврагов связь не выявлена. Это обусловлено разнообразием форм склонов, непосредственно влияющих на скорость водного потока и его размывающую способность. Раньше невысокая связь была характерна для донных оврагов.

Роль глубин местных базисов эрозии за предыдущий период была незначительной. Однако за текущий временной ряд довольно сильная связь между средними многолетними скоростями роста оврагов и глубинами местных базисов эрозии прослеживается у придолинных оврагов (рис. 2), развивающихся на склонах речных долин ( $r=0,710/0,691$ ;  $\eta=0,788/0,775$ ;  $\eta^2=0,622/0,601$ ).

Неоднозначные результаты, на первый взгляд, получились в отношении средних уклонов линий стока. Между уклонами и средней многолетней скоростью роста характерна невысокая отрицательная связь для донных ( $r=-0,300/-0,302$ ;  $\eta=0,543/0,578$ ;  $\eta^2=0,295/0,335$ ) и придолинных ( $r=-0,340/-0,462$ ;  $\eta=0,579/0,522$ ;  $\eta^2=0,335/0,272$ ) оврагов. Это связано с тем, что при увеличении площади водосбора и длин линий стока, их уклоны, как правило, уменьшаются.

Таблица 3

**Результаты корреляционного анализа между средней многолетней скоростью роста оврагов за многолетний период (1998-2015 гг.) и геоморфологическими факторами**

Тип оврага	Корреляционный показатель	Площадь водосбора	Длина линии стока	Глубина базиса эрозии	Средний уклон линии стока	Средний уклон склона
Донный	r	<u>0,294</u>	<u>0,137</u>	<u>-0,166</u>	<u>-0,300</u>	<u>-0,408</u>
		0,262	0,126	-0,187	-0,302	-0,408
	$\eta$	<u>0,638</u>	<u>0,398</u>	<u>0,322</u>	<u>0,543</u>	<u>0,476</u>
		0,648	0,314	0,443	0,578	0,523
$\eta^2$	<u>0,407</u>	<u>0,158</u>	<u>0,103</u>	<u>0,295</u>	<u>0,227</u>	
	0,421	0,099	0,196	0,335	0,273	
B	<u>5,135</u>	<u>2,229</u>	<u>1,214</u>	<u>3,278</u>	<u>0,964</u>	
	5,274	1,243	2,420	3,650	1,598	
Вершинный	r	<u>-0,022</u>	<u>-0,002</u>	<u>-0,269</u>	<u>0,033</u>	<u>-0,179</u>
		-0,060	-0,081	-0,460	-0,254	-0,554
	$\eta$	<u>0,395</u>	<u>0,273</u>	<u>0,668</u>	<u>0,565</u>	<u>0,401</u>
		0,514	0,305	0,607	0,529	0,869
$\eta^2$	<u>0,156</u>	<u>0,075</u>	<u>0,447</u>	<u>0,319</u>	<u>0,160</u>	
	0,264	0,093	0,369	0,280	0,748	
B	<u>2,641</u>	<u>1,270</u>	<u>6,369</u>	<u>5,407</u>	<u>2,185</u>	
	2,864	0,952	1,725	2,368	4,860	
Приводораздельный	r	<u>0,878</u>	<u>0,733</u>	<u>0,749</u>	<u>-0,156</u>	<u>-0,269</u>
		0,883	0,715	0,749	-0,293	-0,351
	$\eta$	<u>0,910</u>	<u>0,913</u>	<u>0,907</u>	<u>-0,348</u>	<u>0,416</u>
		0,935	0,946	0,940	-0,593	0,545
$\eta^2$	<u>0,828</u>	<u>0,834</u>	<u>0,823</u>	<u>-0,328</u>	<u>0,173</u>	
	0,874	0,896	0,883	-0,398	0,296	
B	<u>0,676</u>	<u>3,555</u>	<u>3,138</u>	<u>-0,328</u>	<u>1,207</u>	
	0,844	3,457	2,893	-0,958	1,558	
Придолинный	R	<u>0,152</u>	<u>0,214</u>	<u>0,710</u>	<u>-0,320</u>	<u>-0,430</u>
		0,708	0,340	0,691	-0,960	-0,620
	H	<u>0,603</u>	<u>0,604</u>	<u>0,788</u>	<u>0,529</u>	<u>0,637</u>
		0,939	0,470	0,775	0,900	0,625
$\eta^2$	<u>0,364</u>	<u>0,365</u>	<u>0,622</u>	<u>0,325</u>	<u>0,405</u>	
	0,881	0,221	0,601	0,980	0,390	
B	<u>5,447</u>	<u>5,113</u>	<u>1,884</u>	<u>3,505</u>	<u>3,519</u>	
	4,560	1,268	1,481	0,712	0,070	

*Примечание.* В числителе приведены показатели по всем изучаемым оврагам, в знаменателе – без учета оврагов, прекративших свой рост с 2006 г.

Аналогично предыдущему периоду между средними уклонами склонов и средними многолетними скоростями роста оврагов отмечается обратная связь для донных ( $r=-0,408/-0,408$ ;  $\eta=0,476/0,523$ ;  $\eta^2=0,227/0,273$ ) и придолинных оврагов ( $r=-0,430/-0,620$ ;  $\eta=0,637/0,625$ ;  $\eta^2=0,405/0,390$ ). Как и в случае с уклонами линий стока, это обусловлено обратной зависимостью размеров водосбора и уклонов склона, то есть чем длиннее склон, тем меньше угол его наклона, и наоборот.

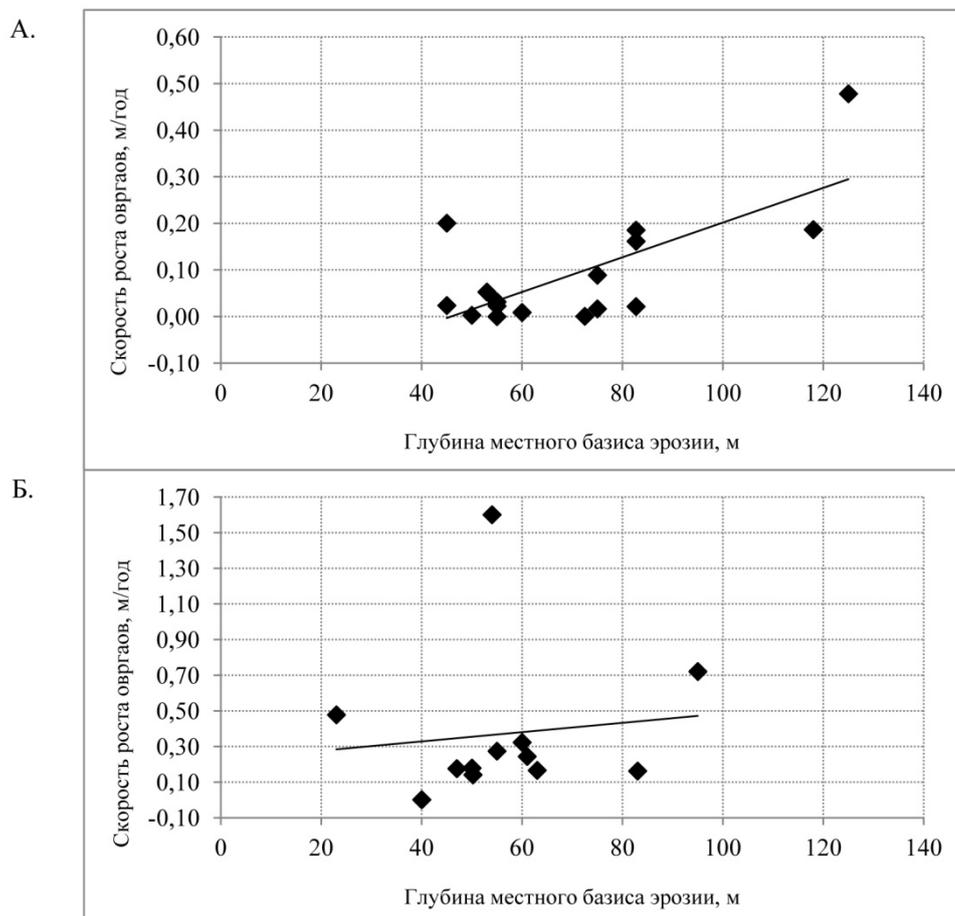


Рис. 2. Графики зависимости скорости роста оврагов (А – придолинные; Б – приводораздельные) от глубин местных базисов эрозии за 1998-2015 гг.

Одной из важнейших характеристик рельефа, от которых зависит скорость роста оврагов, является экспозиция склонов. В отличие от остальных геоморфологических параметров, влияние экспозиции склонов проявляется опосредованно: через густоту растительного покрова, выполняющую защитную функцию для почвы, и через величину слоя весеннего стока, связанного с изменением запасов воды в снеге на склонах.

В рамках данного этапа исследования проведен анализ средних многолетних скоростей роста за период с 1998 по 2015 гг. по экспозициям склонов (рис. 3). Из анализа исключены донные овраги, развивающиеся в днищах древних эрозионных форм, а также один пойменный овраг.

Выяснилось, что максимальные скорости роста оврагов наблюдаются на склонах северной экспозиции (0,42/0,50 м/год), а минимальные – на склонах южной и юго-восточной экспозиций (0,14/0,29 и 0,19/0,26 м/год соответственно). Обусловлено это тем, что мощность снежного покрова, запасы воды в снеге, слой стока и содержание воды в почве после снеготаяния характеризуются более высокими значениями на склонах северных экспозиций; на склонах южных экспозиций значения этих показателей меньше. Наряду с этим, склоны холодных румбов часто выположены вследствие проявления климатической асимметрии и слагаются легко размываемыми делювиально-солифлюкционными суглинками, возникшими в перигляциальных условиях [18]. Это подтверждается и результатами расчетов средних скоростей роста оврагов отдельно для теплых и для холодных румбов. Для оврагов, развивающихся на склонах теплых румбов, скорость роста составила 0,22 м/год по

всем оврагам и 0,23 м/год – без учета оврагов, прекративших свой рост с 2006 г; для холодных – 0,31 и 0,39 м/год соответственно.

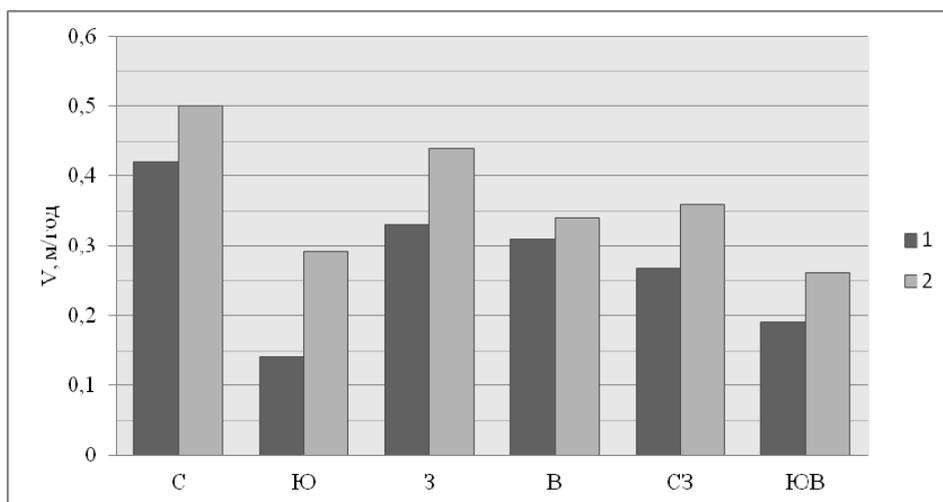


Рис. 3. Средняя многолетняя скорость роста оврагов за многолетний период (1998-2015 гг.) по экспозициям склонов (м/год).

1 – по всем изучаемым оврагам, 2 – без учета оврагов, прекративших свой рост с 2006 года.

По экспозициям также рассчитывались средние скорости роста различных типов оврагов (табл. 4). Так, для группы вершинных оврагов наибольшее значение средней многолетней скорости роста отмечается на склонах южной экспозиции – 0,4/0,69 м/год. При этом довольно высокие скорости характерны и для склонов северной (0,32/0,43 м/год) и восточной (0,36/0,44 м/год) экспозиций. Вершинные овраги, как правило, развиваются на высоких гипсометрических отметках, имеют небольшую площадь водосбора и длину линии стока. Поэтому в данном случае экспозиция не обеспечивает значимой вариации в концентрациях склонового стока.

Таблица 4

Скорости роста различных типов оврагов за многолетний период (1998-2015 гг.) по экспозициям склонов (м/год)

Тип оврага	С	Ю	З	В	СЗ	ЮВ
Вершинный	$\frac{0,32}{0,43}$	$\frac{0,40}{0,69}$	$\frac{0,21}{0,31}$	$\frac{0,36}{0,44}$	$\frac{0,21}{0,21}$	$\frac{0,19}{0,24}$
Приводораздельный	$\frac{0,72}{0,72}$	$\frac{0,05}{0,10}$	$\frac{0,65}{1,25}$	$\frac{0,33}{0,48}$	$\frac{0,34}{0,67}$	$\frac{0,21}{0,35}$
Прибалочный	–	$\frac{0,04}{0,04}$	$\frac{0,32}{0,35}$	$\frac{0,16}{0,16}$	$\frac{0,12}{0,12}$	$\frac{0,26}{0,26}$
Придолинный	$\frac{0,48}{0,48}$	$\frac{0,07}{0,15}$	$\frac{0,12}{0,13}$	$\frac{0,09}{0,19}$	–	$\frac{0,16}{0,29}$

*Примечание.* В числителе приведены показатели по всем изучаемым оврагам, в знаменателе – без учета оврагов, прекративших рост с 2006 года.

Наиболее активно приводораздельные овраги растут на склонах северной (0,72/0,72 м/год) и западной (0,65/1,25 м/год) экспозиций, то есть на склонах холодных румбов. Здесь влияние оказывает большая мощность снежного покрова, запасы воды в снеге, и, соответственно, значительная продолжительность снеготаяния совместно с литологическим фактором.

Для придолинных оврагов максимальное значение скорости, составляющее 0,48 м/год, характерно для склонов северной экспозиции. Обусловлено это благоприятным сочетанием длительной продолжительности снеготаяния и сравнительно больших уклонов поверхности склона.

В группе прибалочных максимальная скорость отмечается для оврагов, приуроченных к склонам западной экспозиции; овраги на склонах северной экспозиции отсутствуют. По аналогии с другими первичными оврагами, можем предположить, что для прибалочных оврагов максимальные скорости роста наблюдаются в целом на склонах холодных румбов. Так же, как и в предыдущем случае, связано это с длительной продолжительностью снеготаяния в сочетании с относительно большими уклонами поверхности склона и литологическим фактором.

### Заключение

Полученные данные свидетельствуют, что скорость роста оврагов в значительной степени зависит от характера подстилающих пород. Наиболее активно растут овраги, размывающие рыхлые четвертичные отложения – балочные, аллювиальные и делювиально-солифлюкционные, менее интенсивно развиваются овраги, размывающие прочные коренные отложения. Среди геоморфологических факторов явного «фаворита», определяющего скорость роста различных типов оврагов, выделить сложно. Высокие положительные связи обнаружены для приводораздельных оврагов с площадью водосборов ( $r = 0,878$ ), глубинами местных базисов эрозии ( $r = 0,749$ ) и длинами линий стока ( $r = 0,733$ ). Высокие показатели связи также выявлены между скоростью роста придолинных оврагов и глубинами местных базисов эрозии ( $r = 0,710$ ).

При рассмотрении роли экспозиции склонов выявлено, что интенсивнее всего овраги развиваются на склонах холодных румбов, часто сложенных легко размываемыми делювиально-солифлюкционными суглинками.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рысин И.И. Овражная эрозия в Удмуртии. Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 1998. 274 с.
2. 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.
3. Poesen J., Nachtergale J., Verstraeten G., Valentine C. Gully erosion and environmental change: importance and research needs // *Catena*. 2003. Vol. 50. P. 91-133.
4. Керн Э.Э. Овраги, их закрепление, облесение и запруживание. М., 1894. 141 с.
5. Масальский В.И. Овраги черноземной полосы России, их распространение, развитие и деятельность. СПб., 1897. 252 с.
6. Проничева М.В. О скоростях роста оврагов Среднерусской возвышенности // Тр. ИГАН СССР. Материалы по геоморфологии и палеогеографии. 1955. Т. 65. Вып.14. С. 87-111.
7. Козменко А.С. Борьба с эрозией почв. М.: Сельхозгиз, 1954. 229 с.
8. Косов Б.Ф. Проблема оценки и прогноза интенсивности овражной эрозии и роста оврагов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. геогр. 1971. № 1. С. 37-44.
9. Косов Б.Ф. Динамика овражной сети при освоении бывших лесных площадей на юге Нечерноземья // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ. 1981. Вып.8. С.67-79.
10. Рожков А.Г. Борьба с оврагами. М.: Колос, 1981. 199 с.
11. Соболев С.С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948. Т.1. 305 с.
12. Скоморохов А.И. Скорость роста оврагов // Геоморфология. 1981. №1. С.97-103.
13. Коротина Н.М. Скорость роста оврагов в Ульяновском Поволжье // Геоморфология. 1981. №4. С.78-83.
14. Миронова Е.А., Сетунская Л.Е. Некоторые результаты изучения интенсивности роста оврагов на Приволжской возвышенности // Геоморфология. 1974. №3. С.74-82.
15. Назаров Н.Н. Овражная эрозия в Прикамье. Пермь: Изд-во Пермск. ун-та. 1992. 103 с.
16. Рыжов Ю.В. Формирование оврагов на юге Восточной Сибири. Новосибирск: Акад. изд. «Гео», 2015. 180 с.
17. 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., 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. N 154. PP.336-355.
18. 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.
19. Бутаков Г.П. Плейстоценовый перигляциал на востоке Русской равнины. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1986. 144 с.
20. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.

*M. Yu. Zaytseva, I. I. Rysin*

## INFLUENCE OF GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL FACTORS ON THE GULLY GROWTH RATES IN UDMURTIA

The article presents an analysis of growth rates of various types of gullies monitored during 1998-2015 depending on geological and geomorphological factors (composition of eroded rocks, area of gully head catchment, length and average gradient of the flow path, depth of the local erosion basis, average gradient and aspect of slope). Similar dependences for the period 1978–1997 are used only for comparison [1; 2]. The growth rates of 168 agricultural gullies developing under different geological and geomorphological conditions of the Udmurt Republic are used for analysis. It was found that gullies developed the most intensively in loose loamy rocks confined to the cold exposure slopes. High positive correlations detected for valley-head gullies with the area of catchments ( $r = 0,878$ ), the depth of the local erosion basis ( $r = 0,749$ ) and the length of the flow path ( $r = 0,733$ ). High performance links are also identified between the growth rate of valley-side gullies and the depth of the local erosion basis ( $r = 0,710$ ).

*Keywords:* Udmurt Republic, growth of gullies, consistence of eroded rocks, geomorphological conditions, mathematical and statistical analysis.

### REFERENCE

1. Rysin I.I. *Ovrazhnaja erozija v Udmurtii* [Gully erosion in Udmurtia], Izhevsk: UdGU, 1998, 274 p. (in Russ.).
2. Grigoryev I.I., Rysin I.I. [The role of geomorphological factors in the development of gullies in Udmurtia], in *Eroziionno akumuljativnye processy v bassejne Verhnej i Srednej Volgi*, Rysin I.I. and Chalov R.S. (ed), 2005, pp. 41-52 (in Russ.).
3. Poesen J., Nachtergale J., Verstraeten G. and Valentine C. Gully erosion and environmental change: importance and research needs, in *Catena*, 2003, vol. 50, pp. 91-133.
4. Kern E.E. *Ovragi, ih zakreplenie, oblesenie i zapruzhivanie* [Gullies, their consolidation, afforestation and damming], Moscow, 1894, 141 p. (in Russ.).
5. Masalsky V.I. *Ovragi chernozemnoi polosy Rossii, ih rasprostranenie i deyatelnost'* [Gullies of Russian Chernozem zone, their distribution, growing and activity], St. Petersburg, 1897, 252 p. (in Russ.).
6. Pronicheva M.V. [About growth rates of gullies on the Central Russian Upland], in *Trudy IGAN SSSR. Materialy po geomorfologii i paleogeografii*, 1955, vol. 65, no. 14, pp. 87-111 (in Russ.).
7. Kozmenko A.S. *Bor'ba s eroziej pochv* [The struggle with soil erosion], Moscow: Selkhozgiz, 1954, 229 p. (in Russ.).
8. Kosov B.F. [Problem of assessment and prognosis of gully erosion and growth of gullies], in *Vestnik MGU, seriya geografiya*, no.1, 1971, pp. 37-44 (in Russ.).
9. Kosov B.F. [Dynamic of gullynet after cultivation former forested areas on the south of Non-chernozem zone], in *Erosiya pochv i ruslovyje processy*, V.8, 1981, pp. 67-79 (in Russ.).
10. Rozhkov A.G. *Bor'ba s ovragami* [The struggle with gullies], Moscow: Kolos, 1981, 199 p. (in Russ.).
11. Sobolev S.S. *Razvitie eroziionnyh processov na territorii evropejskoj chasti SSSR i bor'ba s nimi* [Development of Erosion Processes in European USSR and Their Control], M.-L.: USSR Academy of Sciences, 1948, vol. 1, 305 p. (in Russ.).
12. Skomorohov A.I. [Gully growth rate], in *Geomorphology*, 1981, no. 1, pp. 97-103 (in Russ.).
13. Korotina N.M. [The growth rate of gullies in Ulyanovsk Volga Region], in *Geomorphology*, 1981, no. 4, pp. 78-83 (in Russ.).
14. Mironova E.A., Setunskaja L.E. [Some results of the study of gully growth intensity on the Privolzhskaya Upland], in *Geomorphology*, 1974, no. 3, pp. 74-82 (in Russ.).
15. Nazarov N.N. *Ovrazhnaja erozija v Prikam'e* [Gully erosion in the Kama region], Perm: Perm university, 1992, 103 p. (in Russ.).
16. Ryzhov Ju.V. *Formirovanie ovragov na juge Vostochnoj Sibiri* [The formation of gullies in the south of Eastern Siberia], Novosibirsk: Akademicheskoe izd-vo «Geo», 2015, 180 p. (in Russ.).
17. 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., Moeyersons J., Moshe I., Nazari Samani A., Niacsu L., Nyssen J., Otsuki Y., Radoane M., Rysin I., Ryzhov Y.V. and Yermolaev O. How fast do gully headcuts retreat?, in *Earth-Science Reviews*, 2016, no. 154, pp. 336-355.
18. Rysin I.I., Golosov V.N., Grigoryev I.I., Zaytseva M.Yu. [The impact of climate change on the gullies growth rates within Vyatsko-Kamskoe interfluvial area], in *Geomorphology*, 2017, no. 1, pp. 90-103 (in Russ.).
19. Butakov G.P. *Pleistocenovyj periglacial na vostoke Russkoj ravniny* [Pleistocene periglacial in the east of the Russian plain], Kazan: Kazan State University, 1986, 144 p. (in Russ.).
20. Lakin G.F. *Biometrija* [Biometrics], Moscow: High school, 1990, 352 p. (in Russ.).

Рысин Иван Иванович,  
доктор географических наук, профессор  
E-mail: rysin@uni.udsu.ru

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18

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

Зайцева Мария Юрьевна, аспирант кафедры  
экологии и природопользования

E-mail: zaytseva\_geo@mail.ru

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

Rysin I.I.,  
Doctor of Geography, Professor  
E-mail: rysin@uni.udsu.ru

Kazan State University  
Kremlevskayast., 18, Kazan, Russia, 420008

Udmurt State University  
Universitetskaya st., 1/1, Izhevsk, Russia, 462034

Zaytseva M.Yu., postgraduate student  
at Department of ecology and environmental  
management

E-mail: zaytseva\_geo@mail.ru

Udmurt State University  
Universitetskaya st., 1/1, Izhevsk, Russia, 462034