

Иван И. Рысин^{1,2}, Голосов В.Н.^{2,3}, Григорьев И.И.¹, Зайцева М.Ю.¹

¹ Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия

² Казанский федеральный университет, Казань, Россия

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Влияние гидрометеорологических факторов на рост оврагов в речных бассейнах Удмуртии

Influence of hydrometeorological factors on gully erosion in the Udmurtiya river basins

Abstract: The paper presents the results of long-term (1978-2015) monitoring of gully head retreat in the territory of the Udmurt Republic (UR). The focus is directed on the role of meteorological factors in the development of gullies in the past 17 years (1998 -2015) if it is compared with the previous period of monitoring (1978-1997) and with taking into consideration land use changes at gully catchments. It was found growing influence of rain-storms, which is typical for the eastern and northern parts of UR. For key sites, located in the western part of the study area, it is typical strengthening the role of the depth of freezing soil. The leading role of meteorological factors of spring period, intensity of spring floods and snow-melting remain on most key sites, but their impact on the gully growth decreased significantly, compared with the previous period. In the first time the results of the statistical analysis of the impact of meteorological parameters on the gully head retreat rates for different type of gullies are presented for the 10 key sites.

Keywords: gully head retreat, hydro-meteorological factors, statistical analysis, monitoring, Udmurt Republic

1. Введение

Овражная эрозия является одним из наиболее опасных природно-техногенных рельефообразующих процессов, наносящий большой ущерб земледелию и окружающему ландшафту. Для научно обоснованной борьбы с оврагами, прогнозирования их роста и получения количественных характеристик их сезонного и ежегодного приростов необходимы длительные полевые наблюдения. с этой целью, начиная с 1978 г., нами ведутся полустационарные наблюдения за ростом 168 оврагов на 28 ключевых участках, расположенных в различных ландшафтных условиях Удмуртской Республики (УР).

Динамика овражных форм в различных регионах изучалась многими исследователями. Наиболее ранние сведения о росте оврагов содержатся в работах Э.Э. Керн (1984), В.И. Масальского (1897). Обобщенные исследования по оврагам Среднерусской возвышенности сделаны М.В. Проницовой (1955). Вопросам динамики оврагов большое внимание уделялось А.С. Козменко (1954), Б.Ф. Косовым (1971, 1981), А.Г. Рожковым (1981), С.С. Соболевым (1948), и многими другими исследователями (Скоморохов, 1981; Коротина, 1981; Миронова, Сетунская, 1974; Назаров, 1992).

2. Постановка проблемы

Многочисленные исследования свидетельствуют, что интенсивность роста оврагов в значительной степени определяется климатическими условиями (Зориной ред., 2006; Чалов ред., 1989; Дедков ред., 1990; Рысин, 1998; Рысин, Григорьев, 2010; Vanmaercke и др., 2016). Предшествующие исследования показали, что на востоке Русской равнины 70-80% годового прироста оврагов приходится на весенний период, при этом выявлена ведущая роль таких метеорологических факторов, как интенсивность снеготаяния и запасы воды в снеге (Дедков ред., 1990). Результаты 20-летних мониторинговых наблюдений за линейным

приростом оврагов на Вятско-Камском междуречье (1978-1997 гг.) в целом подтвердили указанные зависимости, но вместе с тем были выявлены и некоторые региональные особенности (Дедков ред., 1990, Рысин 1998).

В данной статье анализируются результаты длительных (1978-2015 гг.) наблюдений за линейным ростом оврагов в пределах Вятско-Камского междуречья на территории УР. Основной акцент сделан на оценку роли гидрометеорологических факторов в период с 1998 по 2014 гг., тогда как результаты наблюдений предшествующего периода, ранее опубликованные (Рысин, 1998), используются лишь для сопоставления.

3. Объект и методы исследования

Территория, в пределах которой находятся объекты мониторинговых наблюдений, расположена на востоке Русской равнины в южной части Вятско-Камского междуречья в границах УР. Территория Удмуртии характеризуется распространением ландшафтов южной тайги и подтаежной зоны, сильно преобразованных хозяйственной деятельностью. в рельефе УР нашли четкое выражение три разновозрастных и разновысотных поверхностей выравнивания. Верхняя ступень или наиболее древняя поверхность располагается на отметках более 250 м, средняя ступень имеет абсолютные отметки 180-200 м, а нижняя 140-160 м. По своему происхождению все они являются денудационными (Дедков и др., 1974). Наиболее низкие абсолютные отметки рельефа приурочены к днищам долин Камы и Вятки и составляют соответственно 56 и 51 м. Анализ распределения глубин местных базисов эрозии свидетельствует о резко дифференцированном характере вертикального расчленения территории. Своего максимума (127 м) она достигает вдоль правобережья реки Камы. в пределах Верхнекамской возвышенности, несмотря на большие значения абсолютных отметок ее поверхности (максимальная отметка 322,6 м), величина вертикального расчленения незначительная – в среднем

около 80 м. Средняя глубина расчленения Кильмезской низменности – 67 м.

Для территории УР характерен умеренно тёплый и влажный климат с продолжительной зимой и относительно коротким летом. Среднегодовая температура изменяется от +2,3°C на севере, до +3,5°C на юге республики. Средние температуры января и июля варьируют в пределах -13,3 – -11,9°C, и +18,3 – +19,7°C соответственно. Устойчивый снежный покров держится 155-175 дней. Среднегодовая сумма осадков составляет 500-650 мм.

Определение темпов линейного прироста оврагов производится путем измерения расстояния от вершины оврага до предварительно установленного репера. На большинстве участков (117 вершин оврагов) наблюдения проводятся один раз в год (летом), а на 9 ключевых участках (42 оврага) измерения осуществляются дважды: в мае, после снеготаяния и в октябре или начале ноября, после окончания сезона летне-осенних ливней (Рис. 1). в период с 1993 г. по 2000 г. на 10 оврагах, расположенных вблизи г. Ижевска, наряду с сезонными, в летний период проводились регулярные наблюдения после выпадения сильных ливней.

На каждом участке количество вершин оврагов, за приростом которых проводятся

наблюдения, колеблется от 1 до 16. Различаются и площади ключевых участков, они изменяются от 1-2 до 18,5 км². На данной площади проводятся дополнительные наблюдения, включающие рекогносцировку территории для выявления новых оврагов или отвершков. в 1992 г. в сеть мониторинга

дополнительно вовлечены овраги, расположенные в пределах ключевых участков „Варни” и „Муллино”, а ключевой участок „Ягул” у Ижевска, где рост оврагов был остановлен в связи с проведением противоэрозионных мероприятий, был заменён на аналогичный в окрестностях с. Юськи (Рис. 1).

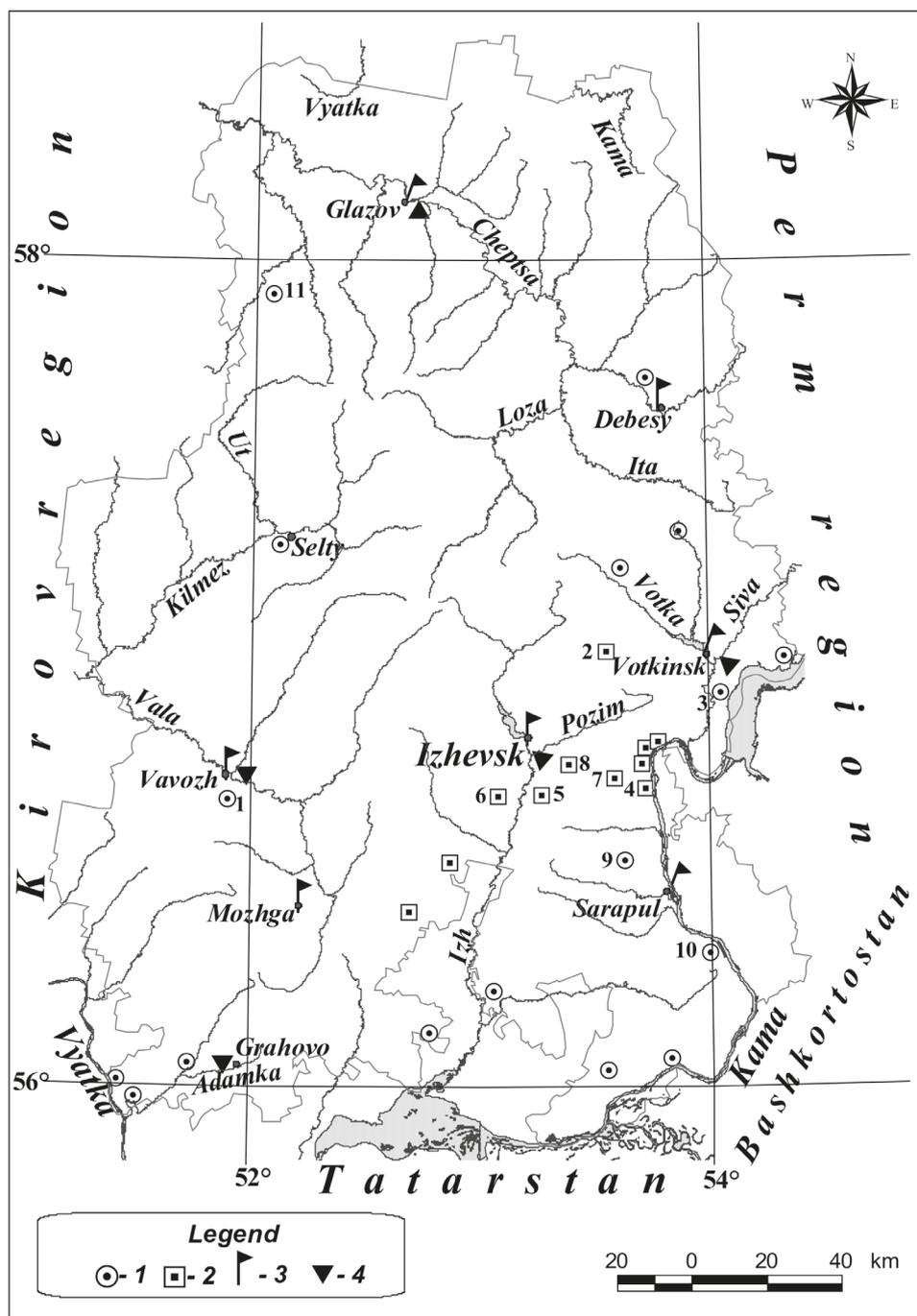


Рисунок 1. Расположение участков мониторинга линейного прироста оврагов в пределах Вятско-Камского междуречья

Условные обозначения: 1 – участки с ежегодными наблюдениями в летний период; 2 – участки с ежегодными наблюдениями после снеготаяния и в осенний период; 3 – метеорологические станции; 4 – гидрологические посты. Цифрами на карте указаны номера ключевых участков: 1 – “Большое Волково” (5 оврагов), 2 – “Черная-Светлое” (7 оврагов), 3 – “Фертики” (8 оврагов), 4 – “Макарово” (3 оврага), 5 – “Мещеряки” (2 оврага), 6 – “Юськи” (3 оврага), 7 – “Забегалово” (4 оврага), 8 – “Ст. Мартьяново” (1 овраг), 9 – “Девятово” (2 оврага), 10 – “Мазунино” (6 оврагов), 11 – “Муллино” (3 оврага)

Все овраги, входящие в сеть мониторинга разделяются на две группы: первичные и вторичные (Соболев, 1948). Первичные овраги нами разделены на три группы: 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%), среди которых чуть меньше половины – приводораздельные. Среди вторичных агрогенных оврагов преобладают вершинные (62,3%).

Анализ полученных данных свидетельствует о большом диапазоне средних скоростей роста оврагов за последние 4 десятилетия. При этом имеются существенные различия как между первичными, так и вторичными оврагами. Причем наибольшие различия наблюдаются среди первичных

оврагов. Наименьшие значения их скоростей роста за многолетний период варьируются в пределах 0,2-0,4 м·год⁻¹.

Максимальные средние многолетние скорости роста отмечаются у с. Мушак Киясовского р-на (24,1 м·год⁻¹), у д. Старые Быги Шарканского р-на (3,05 м·год⁻¹) иуд. Макарово Завьяловского р-на (2,4 м·год⁻¹). Средняя скорость роста по всем первичным оврагам за анализируемый период оказалась невысокой – 0,9 м·год⁻¹.

Для вторичных оврагов столь резкого различия средних скоростей не наблюдается. Максимальные средние скорости роста зафиксированы у 5 донных оврагов на стационаре близ с. Варзи-Ятчи (2,5 м·год⁻¹), с учетом вершинных их среднее значение существенно уменьшается (1,4 м·год⁻¹). Интенсивный рост оврагов наблюдается также у д. Большое Волково Вавожского р-на (2,0 м·год⁻¹). Средняя скорость роста вторичных оврагов несколько выше (1,12 м·год⁻¹), чем у первичных.

4. Результаты и их обсуждение

Обобщенный график среднегодовых темпов линейного прироста агрогенных оврагов получен на основе использования данных по всем оврагам, включенным в систему мониторинга (Рис. 2). За весь период наблюдений 1978-2015 гг. на фоне общего нисходящего тренда отчетливо выделяются 4 пика с максимальными значениями, которые все относятся к первому циклу наблюдений 1978-1997 (Рысин, 1998): 1979 г. (2,8 м·год⁻¹), 1990 и 1991 гг. (1,9 и 2,3 м·год⁻¹) и в 1994 г. (1,8 м·год⁻¹). Усиление темпов отступления вершин оврагов в эти годы было обусловлено интенсивностью половодного стока и значительной долей пашни на их водосборах. После 1997 г. среднегодовые темпы отступления вершин оврагов резко снизились и только в 1997, 1998 и 2001 гг. превышали значение 0,5 м·год⁻¹, достигнув минимума в 2008 году (Рис. 2). Следует учитывать, что во второй половине 1990-х – начале 2000-х годов происходило наиболее значительное сокращение площади пахотных земель, затронувшее и ряд водосборов на участках наблюдений. Одно-

временно сказывалось и общее повышение температур воздуха в зимнее время, которое способствовало снижению глубины промерзания почв и, как следствие, уменьшению поверхностного стока в период снеготаяния. Влияние каждого из этих факторов может быть оценено на основе детального анализа метеорологических данных, наблюдений за расходами воды в реках и анализа изменений землепользования на водосборах оврагов.

Анализировалось развитие 13 оврагов на ключевых участках Макарово (№ 8), Мещеряки (№ 9), Юськи (№ 10), Забегалово (№11), Ст. Мартьяново (№ 12), расположенных вблизи от г. Ижевска; 15 оврагов ключевых участков Черная-Светлое (№ 6) и Фертики (№ 7), расположенных у г. Воткинска; 5 оврагов ключевого участка Бол. Волково (№ 4), расположенного у с. Вавож; 8 оврагов ключевых участков Девятово (№ 18) и Мазунино (№ 19), находящихся у г. Сарапула; 3 оврагов ключевого участка Муллино (№ 28), расположенного недалеко от г. Глазов (Рис. 1). Рассматривались их

средние скорости роста за период с 1998 по 2014 годы в сопоставлении с гидрометеорологическими показателями ближайших гидропостов и метеостанций (ГМС).

В анализ гидрометеорологических условий включены следующие показатели:

- 1) максимальные общие запасы воды в снеге перед началом снеготаяния ($H_{в}$, мм);
- 2) продолжительность снеготаяния (T , сутки);
- 3) интенсивность снеготаяния ($H_{в}/T$, мм-сут.⁻¹);
- 4) максимальная глубина промерзания почвы ($M_{п}$, см);
- 5) годовая сумма осадков ($R_{г}$, мм);
- 6) сумма осадков за теплый период года ($R_{т}$, мм);
- 7) сумма осадков за летние месяцы ($R_{л}$, мм);
- 8) максимальное суточное количество осадков за летний период ($X_{сут}$, мм);
- 9) сумма максимальных суточных осадков за летние месяцы ($X_{л}$, мм);
- 10) сумма максимальных суточных осадков за теплый период ($X_{т}$, мм);
- 11) интенсивность половодного стока как отношение максимального расхода весеннего половодья к норме стока ближайшей малой реки ($Q_{м}/Q_{н}$).

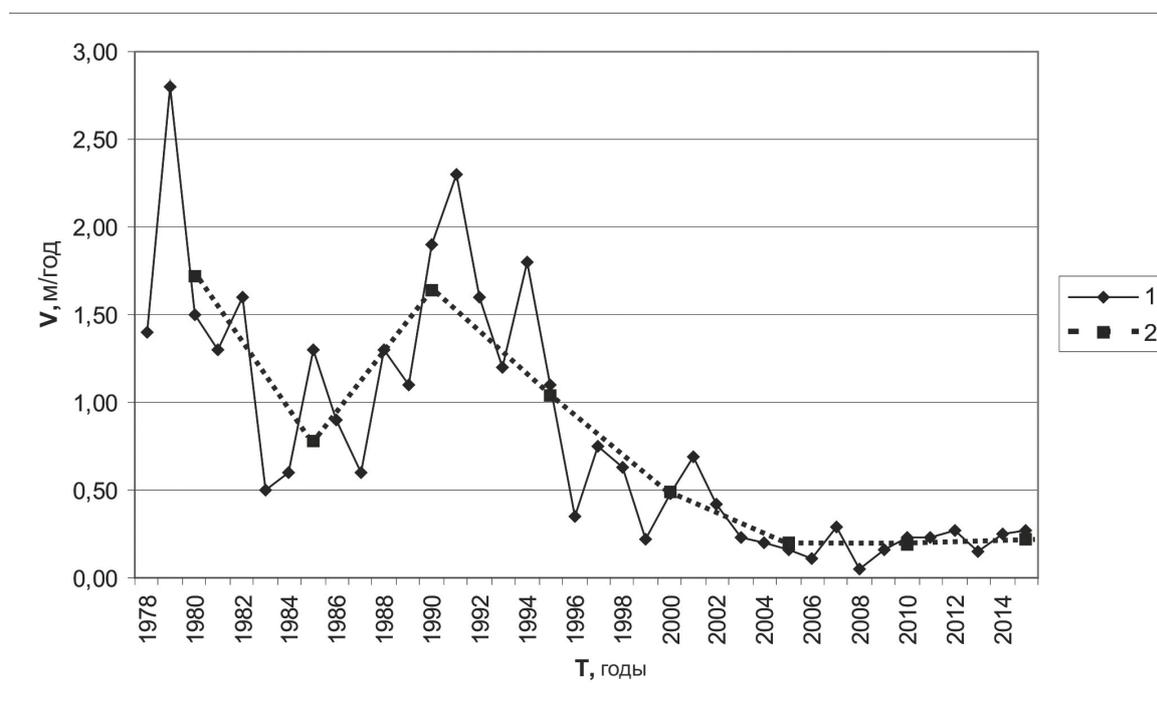


Рисунок 2. Динамика прироста агрогенных оврагов на территории Удмуртской Республики по данным полустационарных наблюдений за 1978-2015 годы (1) и их осредненные значения по пятилетиям (2)

Поскольку в большинстве случаев рассматриваемые зависимости не являются прямолинейными, а они чаще криволинейные, то наряду с обычным коэффициентом корреляции (r) рассчитывался еще дополнительный показатель – корреляционное отношение (η). Корреляционное отношение является универсальным показателем корреляционных связей, поэтому квадрат корреляционного отношения (η^2) обычно применяют в качестве коэффициента детерминации, с помощью которого можно судить о силе влияния факторов на резуль- тативный признак (Лакин, 1990).

Для 5 ключевых участков, находящихся поблизости от г. Ижевска, использовались данные ГМС Ижевска и гидропоста на р. Позимь. Все овраги ключевого участка у с. Большое Волково находятся в стадии активного роста, для их анализа использовались данные метеопоста с. Вавож и гидропоста на р. Вала (с. Вавож). в случае отсутствия показателей в отдельные годы применялись данные близкорасположенной ГМС г. Можги. Для анализа ежегодного прироста оврагов ключевых участков Девятово и Мазунино использовались данные ГМС Сарапула и гидропоста на р.

Адамка (с. Грахово), выбранного в качестве аналога к ближайшей реке Бол. Сарапулка, гидропост на которой был закрыт в 1994 г. Скорость роста оврагов ключевых участков Черная-Светлое и Фертики сопоставлялась с климатическими показателями ГМС Воткинска и данными гидропоста на р. Сива (с. Гавриловка). Развитие Муллинских оврагов сравнивалось с метеоданными ГМС Глазова и гидропоста на р. Чепца (г. Глазов).

Анализ данных показывает, что среднегодовые скорости роста 13 оврагов у г. Ижевска за 17-летний период изменяются в незначительных пределах. Максимальный прирост оврагов по анализируемым участкам наблюдался в 2002 году ($1,8 \text{ м}\cdot\text{год}^{-1}$), когда отмечался интенсивный половодный сток на р. Позимь и наиболее интенсивное снеготаяние (Рис. 3). в годы же с максимальной интенсивностью половодного стока (2012 г) и максимальной интенсивностью снеготаяния (1998 г.) скорость роста оврагов была невысокой. Минимальные скорости роста оврагов отмечались в 2006 и 2008 годах (менее $0,1 \text{ м}\cdot\text{год}^{-1}$). Эти годы отличались низкой интенсивностью половодного стока и снеготаяния, а также малой глубиной промерзания почв, что способствовало очень низкому поверхностному стоку весной. Летние периоды характеризовались низкой суммой осадков и отсутствием сильных ливней. Сопоставление показателя активности роста оврагов с выше перечисленными гидрометеорологическими характеристиками за анализируемый период определяет незначительную связь с интенсивностью снеготаяния ($r=0,32$, $\eta=0,57$) и невысокую положительную связь с интенсивностью половодного стока ($r=0,18$, $\eta=0,48$). в отличие от предыдущего периода выявлена низкая положительная связь с глубиной промерзания почв ($r=0,14$, $\eta=0,41$). с остальными анализируемыми факторами связь не обнаружена (Рис. 3, Табл. 1).

За предыдущий период (1978-1997 годы) скорость роста оврагов на данных ключевых участках обнаружила высокую положительную связь с интенсивностью половодного стока ($r=0,73$), слабые положительные связи с запасами воды в снеге

($r=0,52$) и интенсивностью снеготаяния ($r=0,45$) (Рысин, 1998).

На втором этапе были рассчитаны аналогичные зависимости, но при исключении не растущих оврагов за последние 5 и более лет. Причиной отсутствия прироста на большинстве изучаемых оврагов является изменение землепользования на их водосборах: пахотные земли с середины 1990-х годов не обрабатываются и зарастают многолетними травами и мелколесьем.

Дополнительный анализ показал, что для 9 растущих оврагов на участках у Ижевска значимых связей с гидрометеорологическими факторами не обнаружено. Из всех анализируемых показателей относительно невысокие положительные связи выявлены с продолжительностью снеготаяния ($r=0,24$, $\eta=0,74$), суммой максимальных суточных осадков летнего периода ($r=0,24$, $\eta=0,38$) и глубиной промерзания почв ($r=0,18$, $\eta=0,45$).

На ключевом участке Бол. Волково в период 1978-1997 гг. в годы с интенсивным половодным стоком (1991, 1979) средняя скорость роста оврагов достигала $4,8$ и $6,6 \text{ м}\cdot\text{год}^{-1}$ соответственно. в годы с низким поверхностным стоком, часто совпадающим с малоснежными зимами (1984, 1980 гг.), активность роста оврагов резко снижалась ($0,7$ и $1,1 \text{ м}\cdot\text{год}^{-1}$). Связь между скоростью роста оврагов и интенсивностью половодного стока проявлялась отчетливо ($r=0,886$). в последние годы почти все гидрометеорологические показатели были низкими, соответственно, значительного прироста оврагов не наблюдалось. Относительно высокие скорости роста оврагов наблюдались в 2009 ($1,53 \text{ м}\cdot\text{год}^{-1}$), 1998 ($1,37 \text{ м}\cdot\text{год}^{-1}$) и в 2010 ($1,36 \text{ м}\cdot\text{год}^{-1}$) годах, когда интенсивность половодного стока варьировалась в пределах $5,5$ – $8,8$, а ее максимальное значение в 2012 году составляло всего $13,2$, что в $2,5$ раза меньше показателя 1979 года. Вследствие низких значений интенсивности половодного стока, связь ее со скоростями роста оврагов оказалась отрицательной ($r=-0,27$, $\eta=0,64$). Относительно низкая положительная связь обнаружена с интенсивностью снеготаяния ($r=0,27$, $\eta=0,41$). Минимальные скорости роста оврагов отмечены в 2005 и 2008 годах ($0,07 \text{ м}\cdot\text{год}^{-1}$),

когда наблюдались низкие показатели интенсивности половодного стока и снеготаяния, а неглубокое промерзание почвы обеспечило очень низкий поверхностный сток весной. Установлена достаточно тесная связь активности оврагообразования с глу-

биной промерзания почвы ($r=0,68$, $\eta=0,76$) (Рис. 4), что подтверждает ранее высказанные предположения об уменьшении половодного стока вследствие частой повторяемости теплых зим и слабого промерзания почв (Рысин 1998; Рысин, Григорьев, 2010).

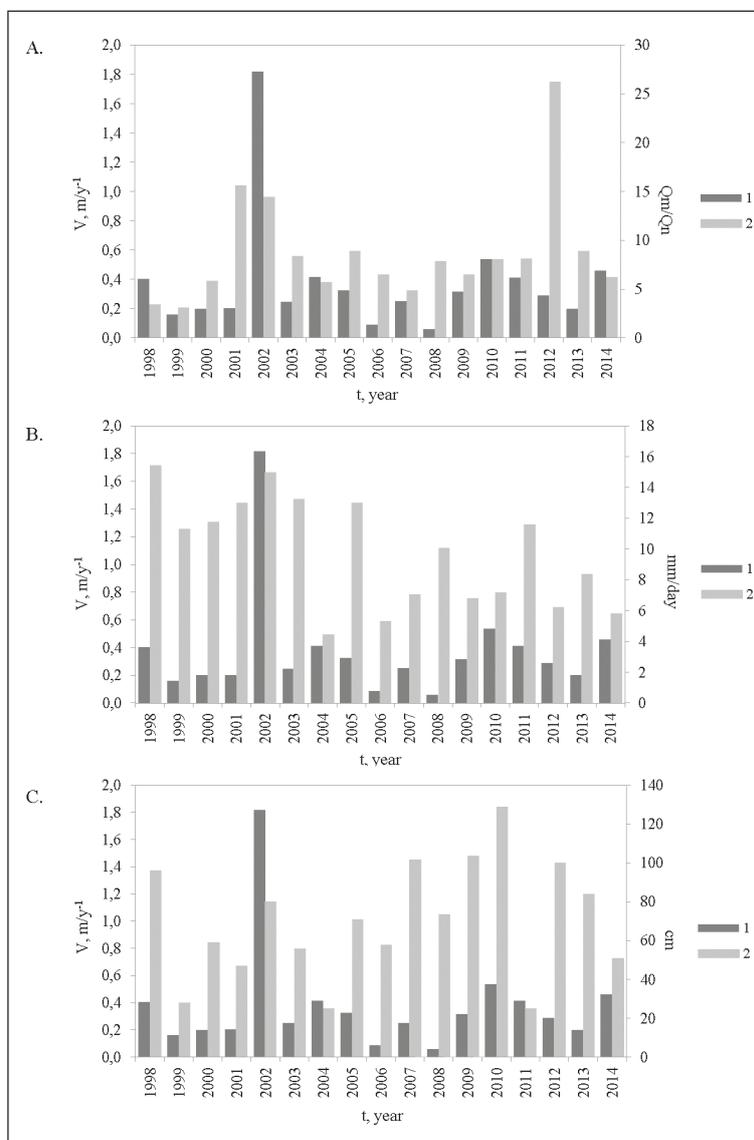


Рисунок 3. Динамика прироста оврагов и гидрометеорологические показатели на территории ключевых участков Макарово – Мещеряки – Юськи – Забегалово – Ст. Мартьяново за период 1998-2014 гг.

1 – скорость прироста оврагов (V , м·год⁻¹); 2 – гидрометеорологический показатель: А – интенсивность половодного стока на р. Позимь (Q_m/Q_n), в – интенсивность снеготаяния (H_v/T , мм·сут.⁻¹), с – максимальная глубина промерзания почв (M_r , см)

Из метеорологических показателей летнего периода выявлена слабая отрицательная связь с суммой осадков летних месяцев ($r=-0,54$, $\eta=0,74$) и низкая положительная связь с максимальным суточным количеством осадков за летние месяцы ($r=0,21$, $\eta=0,47$) (Рис. 4, Табл. 1). Отрицательная связь с суммой летних осадков указывает на то, что в условиях дождливого и теплого

года большинство овражных водосборов интенсивно зарастает как культурной, так и естественной растительностью, что и препятствует образованию поверхностного стока. Сток при вершинах оврагов в летний период формируется только при аномально интенсивных ливнях. На данном ключевом участке все исследуемые овраги являются растущими.

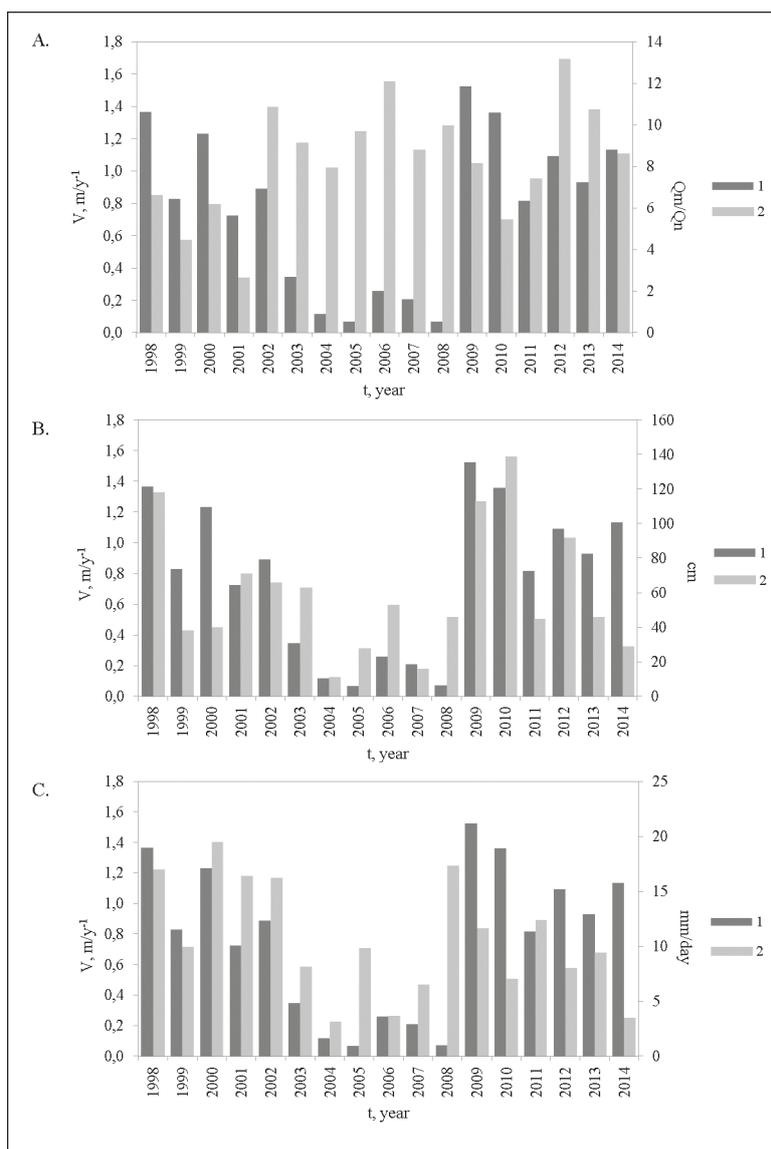


Рисунок 4. Динамика прироста оврагов и гидрометеорологические показатели на территории ключевого участка Большое Волково за период 1998-2014 гг.

1 – скорость прироста оврагов (V , м-год⁻¹); 2 – гидрометеорологический показатель: А – интенсивность половодного стока на р. Вале (Q_m/Q_n), в – максимальная глубина промерзания почв (M_p , см), с – интенсивность снеготаяния ($H_{в/T}$, мм-сут.⁻¹)

Овраги ключевых участков Девятово и Мазунино находятся в Сарапульском районе УР, они в большинстве случаев размывают прочные коренные породы и находятся на последних стадиях развития. Как и в предыдущем периоде, они характеризуются сравнительно медленным ростом. в период с 1978 по 1997 годы скорость роста оврагов здесь имела существенную связь с интенсивностью половодного стока на р. Бол. Сарапулка ($r=0,67$) и с запасами воды в снеге ($r=0,67$). в рассматриваемый период обнаружена слабая положительная связь годового прироста оврагов лишь с интенсивностью половодного стока на р. Адамка ($r=0,47$, $\eta=0,53$) и интенсивностью

снеготаяния ($r=0,42$, $\eta=0,60$) (Рис. 5, Табл. 1). Невысокая связь объясняется относительно малыми величинами скоростей роста оврагов. Так, годовой прирост, превышающий $0,5$ м-год⁻¹ наблюдался только в двух случаях: в 1998 и 2004 годах. При этом в 1998 году отмечалась максимальная интенсивность половодного стока, когда максимальные расходы половодья превышали норму в 150 раз. Высокие запасы воды в снеге и короткий период снеготаяния обеспечили в тот год и максимальную интенсивность снеготаяния ($18,2$ мм-сут.⁻¹). Таких высоких показателей не было зафиксировано даже в 1979 году. Невысокий прирост оврагов в этом году можно объ-

яснить только неглубоким промерзанием почвы, позволившем существенно уменьшить поверхностный сток, прочностью размываемых пород и последней стадией развития большинства оврагов. в 2004 году гидрометеорологические показатели характеризовались невысокими значениями, относительно высокий прирост оврагов возможно связан с антропогенным фактором (распашка водосборов, стокоподводящие борозды и т.п.).

Самые низкие значения годового прироста оврагов наблюдались в 2008 и 2007 годах (0,01 и 0,02 м·год⁻¹). в эти годы отме-

чены низкие значения интенсивности половодного стока и снеготаяния, а также неглубокое промерзание почв зимой. в 2008 году выпало очень мало осадков как зимой, так и за теплый и летний месяцы. в годы с глубоким промерзанием почв (более 1 м) отмечались сравнительно низкие скорости роста оврагов (менее 0,1 м·год⁻¹), поэтому обнаруживается очень слабая отрицательная связь между ними ($r=-0,35$, $\eta=0,48$). Выявлена очень слабая положительная связь с годовой суммой осадков и суммой осадков теплого периода ($r=0,26$) (Рис. 5, Табл. 1).

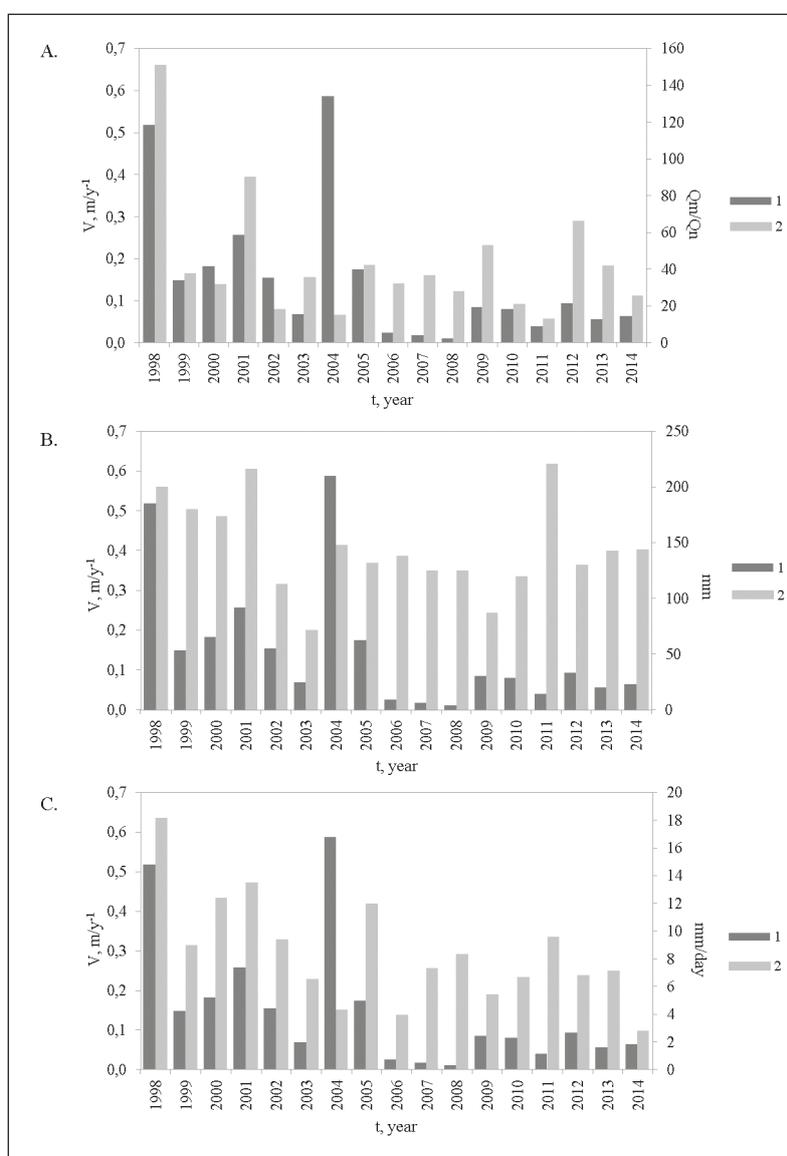


Рисунок 5. Динамика прироста оврагов и гидрометеорологические показатели на территории ключевых участков Девятково – Мазунино за период 1998-2014 гг.

1 – скорость прироста оврагов (V , м·год⁻¹); 2 – гидрометеорологический показатель: А – интенсивность половодного стока на р. Адамка (Qm/Qn), в – максимальные запасы воды в снеге ($Hв$, мм), с – интенсивность снеготаяния ($Hв/T$, мм·сут.⁻¹)

На втором этапе анализировались аналогичные зависимости лишь с 5 первичными оврагами на участке Мазунино. Полученные в первом случае зависимости полностью подтвердились, но с меньшими абсолютными значениями. Также наиболее высокой оказалась связь с интенсивностью половодного стока ($r=0,32$, $\eta=0,49$) и с интенсивностью снеготаяния ($r=0,30$, $\eta=0,55$).

Наблюдения за ростом оврагов на ключевом участке Черная-Светлое ведутся с 1978 года, а в окрестностях д. Фертики – с 1993 года. Анализ их скоростей роста в зависимости от гидрометеорологических факторов проводится впервые. Обнаружена существенная положительная связь между скоростью роста оврагов за анализируемый период и с годовой суммой осадков ($r=0,56$, $\eta=0,64$). Максимальный прирост оврагов наблюдался в 2001 году ($2,26 \text{ м}\cdot\text{год}^{-1}$), когда годовая сумма осадков составила 839 мм, а летние месяцы характеризовались выпадением аномально интенсивных ливней. Положительная связь выявлена также с суммой максимальных суточных осадков за летние месяцы ($r=0,48$, $\eta=0,50$) и суммой максимальных суточных осадков теплого периода ($r=0,43$, $\eta=0,61$). Анализ метеорологических показателей весеннего периода за 13 и 14 лет обнаружил значительную положительную связь только с продолжительностью снеготаяния ($r=0,68$, $\eta=0,90$), что можно объяснить лишь тем, что рост оврагов за рассматриваемый период определялся в основном ливневыми осадками. Зависимость годового прироста оврагов от интенсивности половодного стока оказалась также не существенной ($r=0,30$, $\eta=0,79$) (Рис. 6, Табл. 1), поскольку в 2001 году максимальные расходы половодья на р. Сива не были высокими, возможно это связано с малой глубиной промерзания почв и низкой интенсивностью снеготаяния.

Наименьшие показатели роста оврагов наблюдались в 2008 ($0,02 \text{ м}\cdot\text{год}^{-1}$) и в 2004 ($0,05 \text{ м}\cdot\text{год}^{-1}$) годах, когда интенсивность половодного стока варьировалась в пределах 6,0 и 3,5, соответственно. Интенсивность снеготаяния в эти годы также была сравнительно низкой ($14,3$ и $5,5 \text{ мм}\cdot\text{сут.}^{-1}$), а глубина промерзания почвы варьировала в пределах 35 и 11 см, соответственно.

Невысокими были и метеорологические показатели летнего периода.

Повторный анализ с 9 вторичными оврагами, активно растущими на участках у Воткинска показал менее значимые связи с показателями летнего периода и более высокие с интенсивностью половодного стока ($r=0,35$, $\eta=0,85$). Из показателей летнего периода наиболее высокая величина связи оказалась с максимальным суточным количеством осадков за летние месяцы ($r=0,52$, $\eta=0,67$). Как и в первом случае, высокой оказалась связь и с продолжительностью снеготаяния.

Наблюдения за прибалочным и 2 донными оврагами на ключевом участке Муллино ведутся с 1992 года. Как и в предыдущем случае, анализ их скоростей развития в зависимости от гидрометеорологических показателей проводится впервые. При этом обнаружена существенная положительная связь между скоростью роста оврагов и суммой максимальных суточных осадков за теплый период ($r=0,64$, $\eta=0,70$), а также с суммой максимальных суточных осадков за летний период ($r=0,55$, $\eta=0,68$) и максимальным суточным количеством осадков за летние месяцы ($r=0,56$, $\eta=0,67$). Связь годового прироста оврагов с суммами летних осадков ($r=0,45$, $\eta=0,51$), теплого периода ($r=0,36$, $\eta=0,54$) и за год ($r=0,32$, $\eta=0,69$) оказалась не существенной. Не значительной оказалась и связь с интенсивностью половодного стока ($r=0,37$, $\eta=0,47$) (Рис. 7, Табл. 1).

При исключении из анализа не растущего с 2004 года прибалочного оврага, ранее полученные связи также подтвердились, но их значения немного снизились.

Наиболее интенсивный рост оврагов был отмечен в 1998, 2000 и 2003 годах, которые характеризовались выпадением осадков ливневого характера. Наименьшие скорости роста оврагов наблюдались в 2007 и 2008 годах, в эти годы аномально интенсивные ливни не выпадали, в указанные годы интенсивность половодного стока и снеготаяния были не высокими, глубина промерзания почв также была не значительной.

Поскольку развитие оврага определяется большим количеством факторов и во многом зависит от ее типа и стадии разви-

тия, поэтому на последнем этапе исследования нами проведен анализ влияния выше указанных гидрометеорологических показателей на рост отдельных типов оврагов на ключевых участках.

Анализ показал, что на рост 3 вершинных оврагов на участках у Ижевска в значительной степени влияют суммы максимальных суточных осадков теплого периода ($r=0,27$, $\eta=0,54$) и летних месяцев ($r=0,21$, $\eta=0,37$), в связи с чем зависимости с показателями весеннего периода оказались с отрицательным знаком (Рис. 3). Влияние остальных факторов не выявлено. Прирост 2 донных оврагов зависит в основном

от глубины промерзания почвы ($r=0,50$, $\eta=0,51$), с остальными факторами связь не установлена. На рост 2-х приводораздельных оврагов наибольшее влияние оказывают суммы максимальных суточных осадков летних месяцев ($r=0,35$, $\eta=0,42$), суммы летних осадков ($r=0,25$, $\eta=0,61$), суммы осадков теплого периода ($r=0,24$, $\eta=0,35$) и в меньшей степени продолжительность снеготаяния ($r=0,32$, $\eta=0,74$). Развитие прибалочного оврага в значительной степени определяется годовой суммой осадков ($r=0,31$, $\eta=0,44$) и суммой осадков теплого периода ($r=0,29$, $\eta=0,30$). Скорость же роста придолинного оврага в основном зависит

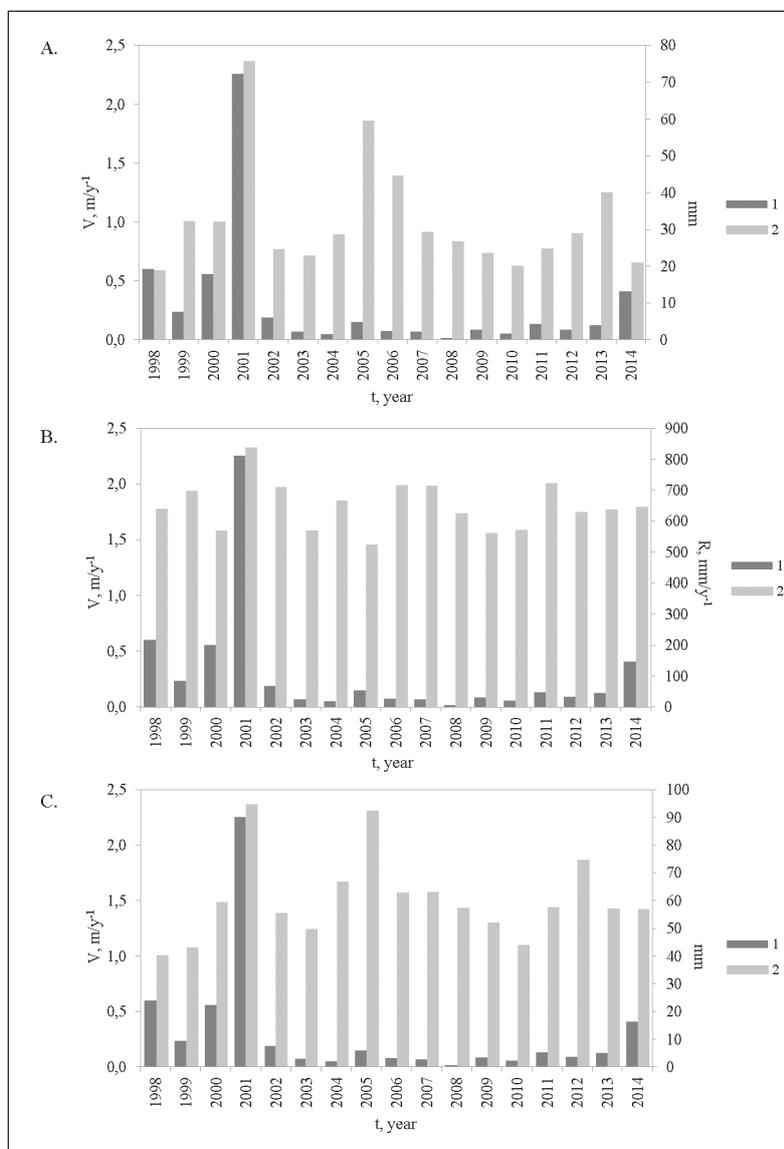


Рисунок 6. Динамика прироста оврагов и гидрометеорологические показатели на территории ключевых участков Черная-Светлое – Фертики за период 1998-2014 гг.

1 – скорость прироста оврагов (V , м·год⁻¹); 2 – гидрометеорологический показатель: А – максимальное суточное количество осадков за летние месяцы (мм), в – годовая сумма осадков (R , мм), с – сумма максимальных суточных осадков за летние месяцы (мм)

от интенсивности снеготаяния ($r=0,47$, $\eta=0,48$) и интенсивности половодного стока ($r=0,34$, $\eta=0,74$). Влияние других факторов не выявлено.

На ключевом участке Мазунино анализировался рост 3 прибалочных и 2 придолинных оврагов. Развитие первых трех оврагов в наибольшей степени зависит от интенсивности снеготаяния ($r=0,77$, $\eta=0,93$), максимальных запасов воды в снеге ($r=0,58$, $\eta=0,78$) и интенсивности половодного стока ($r=0,64$, $\eta=0,76$), влияние других факторов не существенное. Придолинные овраги развиваются на правом крутом склоне долины р. Камы,

находятся в стадии затухания и растут очень медленно. Исключением является 2004 год, когда один из них вырос на 4,2 м, благодаря интенсивным ливневым осадкам и роли хозяйственной деятельности. Поэтому какая либо зависимость от рассматриваемых факторов не выявлена.

Три донных оврага на ключевом участке Бол. Волково обнаруживают тесную связь с максимальной глубиной промерзания почв ($r=0,49$, $\eta=0,54$), аналогичная зависимость установлена здесь с приводораздельным ($r=0,59$, $\eta=0,67$) и вершинным ($r=0,41$, $\eta=0,45$) оврагами. Кроме того, приводораздельные овраги имеют связь

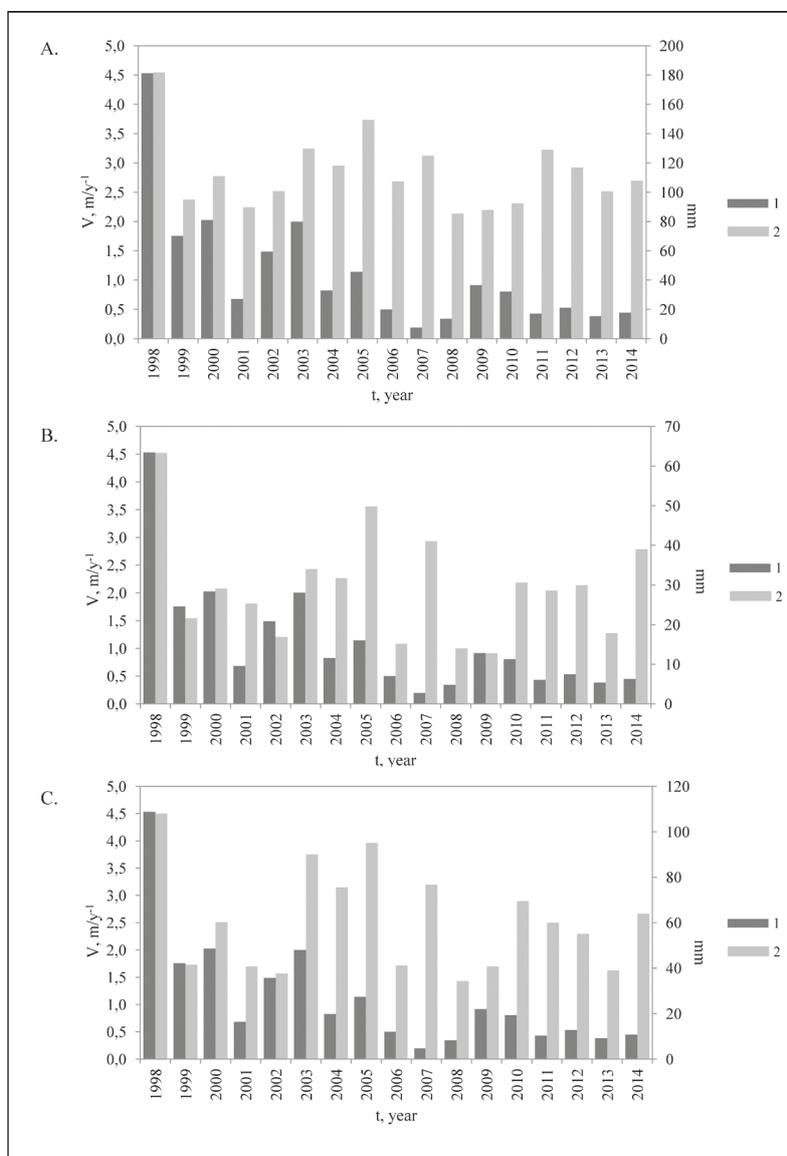


Рисунок 7. Динамика прироста оврагов и гидрометеорологические показатели на территории ключевого участка Муллино за период 1998-2014 гг

1 – скорость прироста оврагов (V , м-год⁻¹); 2 – гидрометеорологический показатель: А – сумма максимальных суточных осадков за теплый период года (мм), в – максимальное суточное количество осадков за летние месяцы (мм), с – сумма максимальных суточных осадков за летние месяцы (мм)

Таблица 1. Коэффициенты связи между скоростями роста оврагов и гидрометеорологическими показателями по ключевым участкам за 1998-2014 гг.

№ п/п	Гидрометеорологические показатели и коэффициенты связи		Ключевые участки				
			Большое Волково	Черная-Светлое – Фертики	Макарово – Мещеряки – Юськи – Забегалово – Ст. Мартьяново	Мул-лино	
Девятово – Мазунино							
1	Интенсивность поверхностного стока Qm/Qn	r	0,4651	-0,2717	0,3038	0,1770	0,3665
		η^2	0,3396	0,4067	0,6207	0,2289	0,2189
		η	0,5828	0,6378	0,7878	0,4784	0,4679
2	Продолжительность снеготаяния $T, сут$	r	0,0647	0,0127	0,6842	-0,1065	0,0131
		η^2	0,1681	0,4798	0,8018	0,2220	0,3975
		η	0,4100	0,6926	0,8954	0,4712	0,6305
3	Макс. запасы воды в снеге $Hв, мм$	r	0,3648	0,0261	-0,1013	0,0500	0,1465
		η^2	0,2082	0,1042	0,1558	0,2385	0,1696
		η	0,4563	0,3228	0,3947	0,4884	0,4118
4	Интенсивность снеготаяния $Hв/T, мм\cdot сут.^{-1}/сут$	r	0,4202	0,2663	-0,2259	0,3211	0,0170
		η^2	0,3313	0,1656	0,1177	0,3194	0,1834
		η	0,5756	0,4070	0,3431	0,5652	0,4282
5	Макс. глубина промерзания почвы $Mп, см$	r	-0,3522	0,6819	-0,1977	0,1430	0,0999
		η^2	0,3162	0,5740	0,1839	0,1663	0,1422
		η	0,5623	0,7577	0,4288	0,4078	0,3771
6	Сумма осадков $R, мм\cdot год^{-1}$	r	0,2613	-0,3246	0,5626	0,0730	0,3241
		η^2	0,1232	0,2819	0,4043	0,2274	0,4792
		η	0,3510	0,5310	0,6359	0,4769	0,6923
7	Сумма осадков теплого периода (апрель-октябрь), $мм$	r	0,2625	-0,4631	0,3007	0,0141	0,3555
		η^2	0,1770	0,3029	0,2223	0,0855	0,2957
		η	0,4207	0,5503	0,4715	0,2923	0,5438
8	Сумма осадков летних месяцев, $мм$	r	0,1922	-0,5359	-0,0398	-0,1384	0,4510
		η^2	0,2765	0,5435	0,2289	0,0980	0,2644
		η	0,5258	0,7372	0,4784	0,3130	0,5142
9	Макс. суточное кол-во осадков по летним месяцам, $мм$	r	-0,0096	0,2077	0,6576	-0,1374	0,5569
		η^2	0,1381	0,2249	0,4422	0,2308	0,4462
		η	0,3716	0,4742	0,6650	0,4804	0,6680
10	Сумма макс. суточных осадков по летним месяцам, $мм$	r	0,0995	-0,1260	0,4780	-0,0266	0,5461
		η^2	0,1441	0,2137	0,2498	0,0919	0,4603
		η	0,3796	0,4622	0,4998	0,3032	0,6784
11	Сумма макс. суточных осадков теплого периода, $мм$	r	-0,0685	-0,3933	0,4274	-0,1046	0,6350
		η^2	0,4108	0,2179	0,3775	0,3173	0,4940
		η	0,6409	0,4668	0,6145	0,5633	0,7029

с интенсивностью поводного стока ($r=0,32, \eta=0,44$), они также обнаруживают достоверную обратную связь с суммой осадков летних месяцев ($r=-0,60, \eta=0,63$)

и теплого периода ($r=-0,52, \eta=0,54$). Установлена зависимость роста вершинного оврага от интенсивности снеготаяния ($r=0,41, \eta=0,60$).

На ключевом участке Черная-Светлое развитие 5 донных оврагов в наибольшей степени зависит от продолжительности снеготаяния ($r=0,84$, $\eta=0,88$) и в меньшей степени от максимального суточного количества осадков за летние месяцы ($r=0,37$, $\eta=0,60$), а также интенсивности половодного стока ($r=0,30$, $\eta=0,76$). Вызывает удивление обратная связь с интенсивностью снеготаяния ($r=-0,53$, $\eta=0,54$), что подтверждает ранее высказанное предположение об их росте за счет выклинивания внутритпочвенного стока в днищах балок и лощин. Именно он в основном формирует временные водотоки, способствующие постепенному регрессивному отступанию вершин донных оврагов.

Развитие трех вершинных ($r=0,52$, $\eta=0,54$) и одного приводораздельного ($r=0,65$, $\eta=0,75$) оврагов на ключевом участке Фертики в значительной степени определяется максимальным суточным количеством летних осадков. На втором месте по значимости находятся: интенсивность снеготаяния ($r=0,58$, $\eta=0,59$) для при-

водораздельного оврага и годовая сумма осадков ($r=0,53$, $\eta=0,74$) для вершинных оврагов. Далее по значимости для вершинных оврагов следуют: сумма максимальных суточных осадков теплого периода ($r=0,42$, $\eta=0,54$) и интенсивность половодного стока ($r=0,38$, $\eta=0,75$). Рост приводораздельного оврага в меньшей степени зависит от суммы максимальных суточных осадков летнего периода ($r=0,43$, $\eta=0,53$) и годовой суммы осадков ($r=0,41$, $\eta=0,43$).

Два донных оврага на ключевом участке Мулино, как и в предыдущем случае, развиваются в основном за счет летних ливневых осадков. По величине показателя связи гидрометеорологические факторы расположились в следующем порядке: сумма максимальных суточных осадков теплого периода ($r=0,55$, $\eta=0,72$), сумма максимальных суточных осадков летних месяцев ($r=0,51$, $\eta=0,71$), максимальное суточное количество осадков за лето ($r=0,45$, $\eta=0,62$), сумма летних осадков ($r=0,44$, $\eta=0,48$) и наконец, интенсивность половодного стока ($r=0,35$, $\eta=0,47$).

5. Выводы

Анализ зависимости роста оврагов от гидрометеорологических факторов показал, что по сравнению с периодом 1978-1997 гг. существенно возросла роль ливневых осадков, что наиболее характерно для ключевых участков в восточных и северных районах УР. На отдельных участках (Бол. Волково) отмечается резко возросшее влияние глубины промерзания почв при одновременном снижении роли остальных факторов. На большинстве ключевых участков по прежнему сохраняется ведущая роль гидрометеорологических показателей весеннего периода: интенсивности половодного стока и снеготаяния, но их абсолютные значения по сравнению с предыдущим периодом существенно снизились. При исключении из анализа не растущих в последние годы оврагов, ранее полученные зависимости сохранились, но при этом их абсолютные значения уменьшились, что характерно практически для всех ключевых участков.

Роль гидрометеорологических факторов неоднозначна и для отдельных типов оврагов. Рост трех вершинных, двух приводораздельных и прибалочного оврагов на ключевых участках у Ижевска в наибольшей степени определяются ливневыми осадками теплого периода. Скорость же роста придолинного оврага здесь зависит в основном от интенсивности снеготаяния и интенсивности половодного стока. Совершенно иначе происходит развитие донных оврагов, которые обнаруживают тесную связь с глубиной промерзания почв, что характерно и для всех типов оврагов на участке Бол. Волково. Кроме того, приводораздельные овраги здесь имеют связь с интенсивностью половодного стока, а вершинный – с интенсивностью снеготаяния. Прибалочные овраги на участке Мазунино в значительной степени развиваются в зависимости от гидрометеорологических параметров весеннего периода, в то же время относительно мед-

ленный рост придолинных оврагов здесь в основном зависит от деятельности человека на их водосборах. Развитие 5 донных оврагов на ключевом участке Черная – Светлое в наибольшей степени зависит от продолжительности снеготаяния и в меньшей – от максимального суточного количества осадков за летние месяцы. Также установлена обратная связь с интенсивностью снеготаяния, что подтверждает предполо-

жение об их росте за счет выклинивания внутрпочвенного стока в днищах балок и лощин. Скорость роста трех вершинных и одного приводораздельного оврагов на ключевом участке Фертики в основном определяется максимальным суточным количеством летних осадков. Показатели весеннего периода играют второстепенную роль. Данный вывод характерен и для донных оврагов на участке Муллино.

6. Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РНФ № 15-17-20006.

The article was presented at the International Scientific Conference
„Human Impact on the Fluvial Processes of Eurasian Rivers”
on September 7th-9th, 2016 in Bydgoszcz (Poland).

Литература

- Дедков А.П., Малышева О.Н., Порман С.В., Рождественский А.Д., 1974. Древние поверхности выравнивания и останцовый рельеф Удмуртии. Развитие склонов и выравнивание рельефа. Казань, 64-76.
- Дедков А.П. ред., 1990. Овражная эрозия востока Русской равнины. Изд-во Казан. ун-та, Казань.
- Зориной Е.Ф. ред., 2006. География овражной эрозии. Изд-во МГУ, Москва.
- Керн Э.Э., 1894. Овраги, их закрепление, облесение и запруживание. Управляющий гос. Имуществами Тульской и Калужской губерний.
- Коротина Н.М., 1981. Скорость роста оврагов в Ульяновском Поволжье. Геоморфология 4, 78-83.
- Косов Б.Ф., 1971. Проблема оценки и прогноза интенсивности овражной эрозии и роста оврагов. Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1, 37-44.
- Косов Б.Ф., 1981. Динамика овражной сети при освоении бывших лесных площадей на юге Нечерноземья. Эрозия почв и русловые процессы. Изд-во МГУ 8, 67-79.
- Козменко А.С., 1954. Борьба с эрозией почв. Сельхозгиз.
- Лакин Г.Ф., 1990. Биометрия. Высшая школа, Москва.
- Масальский В.И., 1897. Овраги черноземной полосы России, их распространение, развитие и деятельность. Тип. В. Киршбаума, Санкт-Петербург.
- Миронова Е.А., Сетунская Л.Е., 1974. Некоторые результаты изучения интенсивности роста оврагов на Приволжской возвышенности. Геоморфология 3, 74-82.
- Назаров Н.Н., 1992. Овражная эрозия в Прикамье. Изд-во Пермск. ун-та, Пермь.
- Проничева М.В., 1955. О скоростях роста оврагов Среднерусской возвышенности. Труды ИГАН СССР. Материалы по геоморфологии и палеогеографии 65 (14), 87-111.
- Рожков А.Г., 1981. Борьба с оврагами. Колос, Moskwa.
- Рысин И.И., 1998. Овражная эрозия в Удмуртии. Изд-во Удм. ун-та, Ижевск.

- Рысин И.И., Григорьев И.И., 2010. Влияние гидрометеорологических факторов на рост оврагов в Удмуртии. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле 4, 137-146.
- Скоморохов А.И., 1981. Скорость роста оврагов. Геоморфология 1, 97-103.
- Соболев С.С., 1948. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними, Том 1. Изд-во АН СССР.
- Чалов Р.С. ред., 1989. Овражная эрозия. Изд-во МГУ, Москва.
- 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., Moeyers J., Moshe I., Nazari Samani A., Niacsu L., Nyssen J., Otsuki Y., Radoane M., Rysin I., Ryzhov Y.V., Yermolaev O., 2016. How fast do gully headcuts retreat? Earth-Science Reviews 154, 336-355.