

И.И. Рысин^{1,2}, В.Н. Голосов^{2,3}, И.И. Григорьев¹, М.Ю. Зайцева¹

О ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЧИНАХ СОВРЕМЕННОГО СОКРАЩЕНИЯ ТЕМПОВ РОСТА ОВРАГОВ В УДМУРТИИ

¹ Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия;

rysin.iwan@yandex.ru

² Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия;

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

Введение

Формирование и развитие оврагов многофакторный процесс, обусловленный различным сочетанием ряда консервативных (литология, рельеф) и динамичных (климат, антропогенное влияние) факторов, совместное влияние которых и определяет наряду со стадией развития конкретного оврага интенсивность его линейного роста [1, 2, 3]. Темпы роста оврагов во многом определяются климатическими характеристиками и для большей части Европейской территории России, где, за исключением южных районов, на период до середины 1990-х годов порядка 80% прироста вершин оврагов происходило в период весеннего снеготаяния [1, 4-9]. Наиболее достоверно эта величина была установлена для Удмуртской Республики (УР), так как она была получена на основе прямых многолетних измерений приростов более 40 вершин оврагов после снеготаяния и по окончанию периода выпадения ливневых дождей [10, 11].

Последние десятилетия характеризуются значительными климатическими изменениями, которые в пределах Европейской территории России (ЕТР) и Западной Сибири выразились в существенном повышении температур воздуха и почвы в зимнее время [12, 13], что привело к общему снижению глубин промерзания почв в зимнее время, а также повторяемости

зим с полностью талой почвой [14]. Данные изменения неизбежно отразились на формировании поверхностного стока в период весеннего снеготаяния, выразившиеся в резком снижении коэффициента поверхностного стока, начиная с 1990-х годов в пределах Среднерусской возвышенности [15].

Климатические изменения последних десятилетий неизбежно должны были сказаться и на темпах эрозионных процессов, включая регрессивный рост оврагов. Но при этом следует учитывать и влияние антропогенного фактора, сказывающегося на формировании агрогенных оврагов, а именно забрасывании части пашни. При этом в отсутствие продолжительных рядов прямых наблюдений за отступанием вершин оврагов достаточно сложно определить фактический вклад изменений климата и забрасывания пашни в темпы овражной эрозии. В представленной работе проводится анализ влияния набора гидроклиматических факторов и изменения землепользования на темпы ежегодного прироста оврагов УР, установленных на основе мониторинга в период 1998-2014 гг. 168 вершин оврагов, расположенных в различных районах республики и имеющих в основном распахиваемые водосборы.

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, характеризуется распространением ландшафтов южной тайги и подтаежной зоны, сильно преобразованных хозяйственной деятельностью. Междуречные пространства сложены лессовидными делювиально-солифлюкционных суглинками, тогда как днища балок, прорезаемых донными оврагами отложениями смытых с междуречных пространств наносов тяжелосуглинистого состава. Ряд придолинных оврагов формируются в верхнепермских глинах с прослойями более прочных пород (известняков, мергелей, аргиллитов, песчаников и т.п.).

Анализ распределения глубин местных базисов эрозии свидетельствует о резко дифференциированном 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, составляя в среднем около 80 м. Средняя глубина расчленения Кильмезской низменности – 67 м.

Для Вятско-Камского междуречья характерен умеренно теплый 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. Средние температуры января и июля варьируют в пределах -13.3 – -11.9°C, и +18.3 – +19.7°C соответственно с выраженным трендом повышения зимних температур воздуха в зимние месяцы [16]. Устойчивый снежный покров держится 155—175 дней. Среднегодовая сумма осадков составляет 500—650 мм.

Начиная с 1978 г. нами проводится мониторинг линейного роста оврагов на 28 ключевых участках, расположенных в различных агро-ландшафтных условиях УР. Определение линейного прироста оврагов производится путем измерения расстояния от вершины оврага до закрепленных реперов с точностью ±0.01 м. Всего в систему мониторинга включено 168 оврагов. Из них на данный момент 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 мелколесью, 11 вершин засыпано грунтом вследствие противоэрозионных мероприятий или твердыми бытовыми отходами (несанкционированные свалки). 17 оврагов исчерпали потенциал своего развития вследствие уменьшения площади водосбора или увеличения эрозионной устойчивости почвенно-растительного покрова водосборной площади. Для анализа влияния

гидроклиматических характеристик на динамику линейного прироста оврагов в период 1998-2014 гг. используются результаты мониторинга 44 вершин оврагов, расположенных на 10 участках, расположенных в разных частях исследуемой территории, на относительно небольшом удалении (максимум 27 км) от метеостанций и гидропостов системы Росгидромета. На каждом из участков число вершин оврагов, за приростом которых проводятся наблюдения, колеблется от 1 до 8 (Рисунок 1). Наблюдения проводятся один раз в год (летом или осенью), а на 5 ключевых участках (13 оврагов) измерения осуществляются дважды: в мае, после снеготаяния и в октябре или начале ноября, после окончания сезона выпадения летне-осенних ливней.

Все овраги, входящие в сеть мониторинга разделяются на две группы: первичные и вторичные [17]. Первичные овраги нами разделены на три группы: приводораздельные, к которым отнесены все овраги, развивающиеся на склонах междуречных пространств, а также прибалочные и придolinные, которые различаются по месту своего развития на бортах балок и речных долин соответственно. К вторичным отнесены донные и вершинные овраги. Среди наблюдаемых оврагов преобладают первичные (58.9%), среди которых чуть меньше половины – приводораздельные. Среди вторичных агрогенных оврагов преобладают вершинные (62.3%).

На 6 метеорологических станциях и 4 гидрологических постах, расположенных вблизи участков мониторинга (Рисунок 1) были получены данные наблюдений, включая: а) максимальный суточный слой осадков в летние месяцы; б) сумма максимальных суточных осадков за летние месяцы; в) максимальные запасы воды в снеге; г) глубина промерзания почвы; д) продолжительность снеготаяния; е) максимальный расход воды в период весеннего половодья; ж) годовая норма стока воды, проходящая через измерительный створ, выраженная в л/сек. На основе этих данных дополнительно были рассчитаны: интенсивность снеготаяния, как производная от деления запасов воды в снеге на продолжительность

снеготаяния, и интенсивность половодного стока, полученная по соотношению между максимальным расходом воды в период половодья и годовой нормой стока (Qm/Qn). Выбор указанных выше гидрометеорологических параметров основывался на предположении, что их изменения могут оказывать влияние на темпы роста оврагов в пределах Вятско-Камского междуречья в период весеннего снеготаяния или при выпадении стокоформирующих дождей.

Для всех выбранных гидрометеорологических показателей были рассчитаны корреляционные связи с ежегодными темпами роста оврагов на каждом из участков. Поскольку не всегда рассматриваемые зависимости являются прямолинейными, то наряду с обычным коэффициентом корреляции (r) рассчитывался дополнительный показатель – корреляционное отношение (η). Проверка гипотезы о форме связи между анализируемыми переменными осуществлялась с помощью критериев Блекмана (B) и Фишера (F) [18].

Результаты и их обсуждение

Обобщенный график среднегодовых темпов линейного прироста агрогенных оврагов получен на основе использования данных по всем оврагам, включенным в систему мониторинга (рисунок 2). За весь период наблюдений 1978-2015 гг. отчетливо выделяются 4 пика с максимальными значениями, которые все относятся к первому циклу наблюдений 1978-1997 [10]: 1979 г. (2.8 м/год), 1990 и 1991 гг. (1.9 и 2.3 м/год) и в 1994 г. (1.8 м/год). Усиление темпов отступания вершин оврагов в эти годы было обусловлено значительным склоновым стоком в период снеготаяния, установленным на основе анализа максимальных расходов половодного стока рек и значительной долей обрабатываемой пашни на их водосборах.

После 1997 г. среднегодовые темпы отступания вершин оврагов резко снизились и только в 1997, 1998 и 2001 гг. превышали значение 0.5 м/год (Рисунок 2А). После 2003 г. темпы роста снизились до минимума и

находятся на нём до настоящего времени. Следует учитывать, что во второй половине 1990-х – начале 2000-х годов происходило сокращение площади обрабатываемых пахотных земель, затронувшее и ряд водосборов на участках наблюдений, что привело к стабилизации ряда оврагов, в том числе 7 вершин оврагов, входящих в систему мониторинга. Таким образом, забрасывание пашни на водосборе оврага при современных климатических условиях постепенно ведет к полной остановке линейного роста оврага и его зарастанию в течение 8-10 лет. Аналогичная ситуация в Восточной Сибири отмечена Ю.В. Рыжовым [3].

Несколько более сложен механизм влияния климатических изменений. В первый цикл наблюдений (1978-1997 гг.) для всей территории была получена достаточно высокая корреляционная связь ($r=0.77$) темпов роста оврагов и интенсивности половодного стока [10]. Поскольку интенсивность половодного стока на малых реках является функцией поверхностного склонового стока, то можно утверждать, что именно интенсивность талого стока в этот период определял темпы линейного роста оврагов. Это подтверждается и результатами прямых наблюдений за ростом оврагов на участках мониторинга около г. Ижевска, на которых измерения проводились дважды в год (весна-осень), которые показывают, что 80% прироста оврагов произошло весной в период талого стока.

Результаты аналогичных наблюдений в период 1998-2015 гг. показали, что весенний прирост оврагов составляет только 53% от суммарного за год, тогда как доля вклада ливневого стока в рост оврагов возросла до 47%. Так как данные изменения соотношения вклада талого и ливневого стока произошли на фоне общего резкого снижения среднегодовых темпов прироста оврагов, на которых наблюдения проводились дважды в год, до 0.38 м/год, то фактически отмечается очень сильное сокращение темпов роста оврагов в период снеготаяния. Темпы прироста оврагов в период выпадения ливневых дождей практически не изменились. Более того,

наблюдается достаточно четкая связь между внутригодовой долей вклада талого стока и максимальным суточным слоем осадков теплого периода в конкретный год (рисунок 2Б). Некоторым исключением является 2005 г., когда существенного сокращения доли талого стока не произошло, что в общем можно объяснить высокой вариабельностью ливней по площади.

Следует учитывать, что, несмотря на то, что все овраги, включенные в систему мониторинга, являются агрогенными и доминирующая часть их водосборов распахивается, существуют и некоторые местные особенности, связанные с некоторыми различиями в стадиях развития оврагов, размываемых породах и соотношениях между первичными и вторичными оврагами. Это, несомненно, сказывается на особенностях их роста.

Ни для одного из используемых для анализа гидрометеорологического показателя не обнаружено тесной связи с темпами ежегодного роста всех оврагов, входящих в выборку. Это говорит о том, что действительно талый сток перестал играть доминирующую роль в линейном росте оврагов, как это наблюдалось в период мониторинга 1978-1997 гг. Тем не менее, для отдельных участков, а также отдельных типов оврагов удалось выявить достаточно отчетливое влияние ряда гидрометеорологических показателей. Сразу же следует оговориться, что само по себе наличие подобной связи может в ряде случаев носить и случайный характер, так как метеостанции и гидропосты расположены на некотором удалении от участков наблюдений за ростом оврагов и фактические значения метеорологических показателей на водосборах оврагов несколько отличаются от наблюдавшихся на объектах Росгидромета.

За предыдущий период (1978-1997 годы) темпы роста оврагов на ключевых участках в районе г. Ижевска обнаружили высокую положительную связь с интенсивностью половодного стока ($r = 0.73$), слабые положительные связи с запасами воды в снеге ($r = 0.52$) и интенсивностью снеготаяния ($r = 0.45$) [10].

Анализ данных наблюдений за период 1998-2015 гг. показывает, что среднегодовые темпы 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 м/год), когда отмечался интенсивный половодный сток на р. Позимь и наиболее интенсивное снеготаяние. 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 м/год). Эти годы отличались низкой интенсивностью половодного стока и снеготаяния, а также малой глубиной промерзания почв, что способствовало очень низкому поверхностному стоку весной. Сопоставление ежегодных темпов роста оврагов с гидрометеорологическими характеристиками за анализируемый период выявляет только незначительную связь с интенсивностью снеготаяния ($r = 0.32$, $\eta = 0.57$). С остальными параметрами корреляционная связь не выявлена (таблица).

На ключевом участке Бол. Волково (рисунок 1) в период мониторинга 1978-1997 гг. в годы с интенсивным половодным стоком (1991, 1979) средние темпы роста оврагов достигали 4.8 и 6.6 м/год 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 м/год). Связь между темпами роста оврагов и интенсивностью половодного стока проявлялась отчетливо ($r = 0.886$). В период 1998-2014 гг. наибольшие темпы роста оврагов снизились до менее чем 2 м/год. Они наблюдались в 2009 (1.53 м/год), 1998 (1.37 м/год) и в 2010 (1.36 м/год) годах. Минимальные скорости роста оврагов отмечены в 2005 и 2008 годах (0.07 м/год), когда наблюдались низкие показатели интенсивности половодного стока и снеготаяния, а неглубокое промерзание почвы привело к очень низкому поверхностному стоку весной. Для данного участка установлена достаточно тесная связь

активности оврагообразования с глубиной промерзания почвы ($r = 0.68$, $\eta = 0.76$) (Рисунок 3-І), что подтверждает ранее высказанные предположения об уменьшении половодного стока вследствие частой повторяемости теплых зим и слабого промерзания почв [10, 11, 19].

Овраги ключевых участков Девятово и Мазунино находятся в Сарапульском районе Удмуртии (рисунок 1), они в большинстве случаев размывают прочные коренные породы и находятся на последних стадиях развития. Как и за предыдущий цикл наблюдений, 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. Большая 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 ($r = 0.47$, $\eta = 0.62$) и интенсивностью снеготаяния ($r = 0.42$, $\eta = 0.58$). Невысокая связь объясняется относительно малыми величинами темпов роста оврагов. Так, годовой прирост, превышающий 0,5 м/год 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.). Таких высоких показателей не было зафиксировано даже в 1979 году. Невысокий прирост оврагов в этом году можно объяснить только неглубоким промерзанием почвы, что привело к существенному уменьшению поверхностного стока, прочностью размываемых пород и последней стадией развития самих оврагов. Самые низкие значения годового прироста оврагов наблюдались в 2008 и 2007 годах (0.01 и 0.02 м/год). В эти годы отмечены низкие значения интенсивности

половодного стока и снеготаяния, а также неглубокое промерзание почв зимой (рисунок 3-II).

Наблюдения за ростом оврагов на ключевом участке Черная-Светлое ведутся с 1978 года, а в окрестностях дер. Фертики – с 1993 года (рисунок 1). Анализ их скоростей роста в зависимости от гидрометеорологических факторов проводится впервые. Обнаружена существенная положительная связь между темпами роста оврагов за анализируемый период и годовой суммой осадков ($r = 0.56$, $\eta = 0.64$). Максимальный прирост оврагов наблюдался в 2001 году (2.26 м/год), 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 во многом зависел от повторяемости стокоформирующих ливней. Зависимость годового прироста оврагов от интенсивности половодного стока оказалась также несущественной ($r = 0.30$, $\eta = 0.79$) (рисунок 3-III, таблица), поскольку в 2001 году максимальные расходы половодья на р. Сива не были высокими, возможно это связано с низкой глубиной промерзания почв и низкой интенсивностью снеготаяния.

Наименьшие показатели роста оврагов наблюдались в 2008 (0.02 м/год) и в 2004 (0.05 м/год) 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 мм/сут.), а глубина промерзания почвы варьировала в пределах 35 и 11 см,

соответственно. Метеорологические показатели летнего периода также были ниже среднемноголетних значений.

Отдельно проведенное сопоставление гидрометеорологических параметров и темпов ежегодного прироста 9 вторичных оврагов, активно растущих 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 (таблица).

Наблюдения за прибалочным и двумя донными оврагами на ключевом участке Муллино (рисунок 1) 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 ($r = 0.37$, $\eta = 0.47$) (рисунок 3-IV, таблица).

При исключении из анализа нерастущего с 2004 года прибалочного оврага, ранее полученные связи также подтвердились, но их значения немного снизились (таблица).

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 незначительной.

Поскольку развитие оврага определяется большим количеством факторов и во многом зависит от ее типа и стадии развития, нами проведен анализ влияния выше указанных гидрометеорологических показателей на рост отдельных типов оврагов на ключевых участках. В отдельных случаях были выявлены определенные зависимости.

Так, на ключевом участке Мазунино (рисунок 1) темпы роста прибалочных оврагов хорошо коррелируют с интенсивностью снеготаяния ($r = 0.77$, $\eta = 0.93$), а также в меньшей степени с максимальными запасами воды в снеге ($r = 0.58$, $\eta = 0.78$) и интенсивностью половодного стока ($r = 0.64$, $\eta = 0.76$). На ключевом участке Черная-Светлое (рисунок 1) интенсивность линейного прироста 5 донных оврагов хорошо коррелирует с продолжительностью снеготаяния ($r = 0.84$, $\eta = 0.88$). Развитие трех вершинных ($r = 0.52$, $\eta = 0.54$) и одного приводораздельного ($r = 0.65$, $\eta = 0.75$) оврагов на ключевом участке Фертики в определенной степени связано с максимальным суточным количеством летних осадков. Похожая связь обнаруживается между интенсивностью снеготаяния ($r = 0.58$, $\eta = 0.59$) для приводораздельного оврага и годовой суммой осадков ($r = 0.53$, $\eta = 0.74$) для вершинных оврагов. Рост донных оврагов на ключевом участке Муллино в равной степени связан с рядом по сути взаимодополняющих друг друга характеристик осадков теплого времени года, а именно с суммой максимальных суточных осадков теплого периода ($r = 0.55$, $\eta = 0.72$) и суммой максимальных суточных осадков летних месяцев ($r = 0.51$, $\eta = 0.71$).

Выводы

На основе анализа результатов мониторинга линейного роста оврагов и данных гидрометеорологических наблюдений в различных частях Вятско-

Камского междуречья установлено, что наряду с забрасыванием пахотных земель, которое привело к полному прекращению развития оврагов и их стабилизации, резкое сокращение темпов роста оврагов с 1.3 м/год в 1978–1997 до 0.3 м/год в 1998–2014 гг. обусловлено существенным уменьшением поверхностного стока в период весеннего снеготаяния.

Результаты прямых наблюдений за сезонным (периоды снеготаяния и летне-осенние стокоформирующие ливни) ростом агрогенных оврагов различного типа на востоке Вятско-Камского междуречья подтверждают, что снижение темпов роста произошло в связи со значимым падением темпов роста в период весеннего снеготаяния. Долевой вклад весенного стока в рост оврагов снизился с 80% в период 1978–1997 до 53% в 1998–2014 гг. При этом абсолютный среднегодовой прирост оврагов за теплое время года по существу не изменился.

Анализ зависимости роста оврагов от гидрометеорологических факторов показал, что по сравнению с периодом 1978–1997 гг. существенно возросла роль экстремальных ливневых осадков, что наиболее характерно для ключевых участков в восточных и северных районах Вятско-Камского междуречья. В частности максимальный вклад ливневого стока в линейный прирост оврагов на участках, расположенных рядом с Ижевском, отмечены именно в годы с выпадением дождей с суточным слоем свыше 40 мм.

В юго-западной части Удмуртии (участок Большое Волково) в большей степени обнаружилась связь роста оврагов с изменениями глубины промерзания почв. В тоже время ранее (в период наблюдений 1978 – 1997 гг.) четко выраженная связь ежегодного прироста оврагов и интенсивности половодного стока хотя и проявляется практически повсеместно, но стала гораздо менее устойчивой.

Роль гидрометеорологических факторов по-разному проявляется для отдельных типов оврагов в пределах различных частей исследованной территории. При отсутствии какой-либо четко проявляющейся зависимости

между конкретным типом оврагов и одним из гидрометеорологических факторов, в большей степени дублируются зависимости, выявленные для различных регионов республики, проявляющиеся для каждого из типов оврагов с большей или меньшей выраженностью.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овражная эрозия востока Русской равнины / Дедков А.П. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1990. 142 с.
2. Баженова О.И., Любцова Е.М., Рыжов Ю.В., Макаров С.А. Пространственно-временной анализ динамики эрозионных процессов на юге Восточной Сибири. Новосибирск: Наука, 1997. 208 с.
3. Рыжов Ю.В. Пространственно-временные закономерности формирования и развития оврагов на юге Восточной Сибири: Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук. Томск, 2013. 32 с.
4. Проничева М.В. О скоростях роста оврагов Среднерусской возвышенности // Труды ИГАН СССР. Материалы по геоморфологии и палеогеографии. 1955. Т. 65. Вып. 14. С. 87–111.
5. Коротина Н.М. Скорость роста оврагов в Ульяновском Поволжье // Геоморфология. 1981. № 4. С. 78–83.
6. Миронова Е.А., Сетунская Л.Е. Некоторые результаты изучения интенсивности роста оврагов на Приволжской возвышенности // Геоморфология. 1974. № 3. С. 74–82.
7. Назаров Н.Н. Овражная эрозия в Прикамье. Пермь: Изд-во Пермск. ун-та, 1992. 103 с.

8. География овражной эрозии / Под ред. Е.Ф. Зориной. М.: Изд-во МГУ, 2006. 324 с.
9. Овражная эрозия / Под ред. Р.С.Чалова. М.: Изд-во МГУ, 1989. 168 с.
10. *Рысин И.И.* Овражная эрозия в Удмуртии. Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 1998. 274 с.
11. *Рысин И.И., Григорьев И.И.* Влияние гидрометеорологических факторов на рост оврагов в Удмуртии // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 2010. Вып. 4. С. 137–146.
12. *Шерстюков А.Б.* Корреляция температуры почвогрунтов с температурой воздуха и высотой снежного покрова на территории России // Криосфера Земли. 2008. Т. XII. № 1. С. 79–87.
13. *Park H., Sherstiukov A., Fedorov A., Polyakov I. and Walsh J.* An observation-based assessment of the influences of air temperature and snow depth on soil temperature in Russia // Environmental Research Letters, 2014. V. 9. No. 6, 064026 (7 pp).
14. *Голосов В.Н., Геннадиев А.Н., Olson K.P., Маркелов М.В., Жидкин А.П., Чендеев Ю.Г., Ковач Р.Г.* Пространственно-временные особенности развития почвенно-эрэзионных процессов в лесостепной зоне Восточно-Европейской равнины // Почвоведение. 2011. № 7. С. 861–869.
15. *Petelko A. I., Golosov V. N., Belyaev V. R.* Experience of design of system of counter-erosion measures // Proceedings of the 10-th international symposium on river sedimentation. 2007. Vol. 1. P. 311–316.
16. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Важнова Н.А.* Пространственно-временные изменения основных показателей температурно-влажностного режима в Приволжском федеральном округе // Метеорология и гидрология. 2014. № 10. С. 19–31.

17. 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.
18. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
19. Рысин И.И., Григорьев И.И., Зайцева М.Ю., Голосов В.Н. Динамика линейного прироста оврагов Вятско-Камского междуречья на рубеже столетий // Вестник МГУ, серия География, в печати.

References

1. РУС.: Овражная эрозия востока Русской равнины / Дедков А.П. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1990. 142 с.
 АНГЛ.: *Ovrazhnaja jerozija vostoka Russkoj ravniny* (Gully Erosion in the East of the Russian Plain). Dedkov A.P. Ed. Kazan State University (Publ.), 1990, 142 p.
2. РУС.: Баженова О.И., Любцова Е.М., Рыжов Ю.В., Макаров С.А. Пространственно-временной анализ динамики эрозионных процессов на юге Восточной Сибири. Новосибирск: Наука, 1997. 208 с.
 АНГЛ.: Bazhenova O.I., Ljubcova E.M., Ryzhov Ju.V. and Makarov S.A. *Prostranstvenno-vremennoj analiz dinamiki jerozionnyh processov na juge Vostochnoj Sibiri* (Spatio-temporal analysis of the dynamics of erosion processes in the south of Eastern Siberia). Novosibirsk: Nauka (Publ.), 1997, 208 p.
3. РУС.: Рыжов Ю.В. Пространственно-временные закономерности формирования и развития оврагов на юге Восточной Сибири: Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук. Томск, 2013. 32 с.
 АНГЛ.: Ryzhov Ju.V. *Prostranstvenno-vremennye zakonomernosti formirovaniya i razvitiya ovragov na juge Vostochnoj Sibiri* (Spatio-temporal patterns of the formation and development of gullies in the Southern East Siberia): Doctor of Science thesis. Tomsk, 2013, 32 p.

4. РУС.: Проничева М.В. О скоростях роста оврагов Среднерусской возвышенности // Труды ИГАН СССР. Материалы по геоморфологии и палеогеографии. 1955. Т. 65. Вып. 14. С. 87–111.
АНГЛ.: Pronicheva M.V. About growth rates of gullies of the Central Russian Upland, in *Trudy IGAN SSSR. Materialy po geomorfologii i paleogeografii* (IGAN Proceedings of the USSR. Materials on geomorphology and paleogeography), 1955, V. 65, No. 14, pp. 87–111.
5. РУС.: Коротина Н.М. Скорость роста оврагов в Ульяновском Поволжье // Геоморфология. 1981. № 4. С. 78–83.
АНГЛ.: Korotina N.M. The growth rate of gullies in Ulyanovsk Volga Region. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*, 1981, No. 4, pp. 78–83 (in Russ.).
6. РУС.: Миронова Е.А., Сетунская Л.Е. Некоторые результаты изучения интенсивности роста оврагов на Приволжской возвышенности // Геоморфология. 1974. № 3. С. 74–82.
АНГЛ.: Mironova E.A., Setunskaja L.E. Some results of the study of gully growth intensity on the Privolzhskaya Upland. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*, 1974, No. 3, pp. 74–82 (in Russ.).
7. РУС.: Назаров Н.Н. Овражная эрозия в Прикамье. Пермь: Изд-во Пермск. ун-та, 1992. 103 с.
АНГЛ.: Nazarov N.N. *Ovrazhnaja jerozija v Prikam'e* (Gully erosion in the Kama region). Perm: Perm university (Publ.), 1992. 103 p.
8. РУС.: География овражной эрозии / Под ред. Е.Ф. Зориной. М.: Изд-во МГУ, 2006. 324 с.
АНГЛ.: *Geografiya ovrazhnoj jerozii* (Geography of gully erosion). E.F. Zorina. Ed. Moscow: MSU (Publ.), 2006, 324 p.
9. РУС.: Овражная эрозия / Под ред. Р.С.Чалова. М.: Изд-во МГУ, 1989. 168 с.

- АНГЛ.:** *Ovrazhnaja jerozija* (Gully erosion). R.S.Chalov. Ed. Moscow: MSU (Publ.), 1989, 168 p.
10. **РУС.:** Рысин И.И. Овражная эрозия в Удмуртии. Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 1998. 274 с.
АНГЛ.: Rysin I.I. *Ovrazhnaja jerozija* v *Udmurtii* (Gully erosion in Udmurtia). Izhevsk: UdGU (Publ.), 1998, 274 p.
11. **РУС.:** Рысин И.И., Григорьев И.И. Влияние гидрометеорологических факторов на рост оврагов в Удмуртии // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 2010. Вып. 4. С. 137–146. **АНГЛ.:** Rysin I.I., Grigor'ev I.I. The influence of hydrometeorological agents on the ravine growth in Udmurtia. *Vestnik UdGU. Serija Biologija. Nauki o Zemle (Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences)*, 2010, No. 4, pp. 137–146 (in Russ.).
12. **РУС.:** Шерстюков А.Б. Корреляция температуры почвогрунтов с температурой воздуха и высотой снежного покрова на территории России // Криосфера Земли. 2008. Т. XII. № 1. С. 79–87.
АНГЛ.: Sherstjukov A.B. Correlation of soil temperature with air temperature and snow cover depth in Russia. *Kriosfera Zemli. (Earth Cryosphere)*, 2008, V. XII, No. 1, pp. 79–87 (in Russ.).
13. Park H., Sherstiukov A., Fedorov A., Polyakov I. and Walsh J. An observation-based assessment of the influences of air temperature and snow depth on soil temperature in Russia // Environmental Research Letters, 2014. V. 9. No. 6, 064026 (7 pp.).
14. **РУС.:** Голосов В.Н., Геннадиев А.Н., Olson K.P., Маркелов М.В., Жидкин А.П., Чендеев Ю.Г., Ковац Р.Г. Пространственно-временные особенности развития почвенно-эрзационных процессов в лесостепной зоне Восточно-Европейской равнины // Почвоведение. 2011. № 7. С. 861–869.

- АНГЛ.:** Golosov V.N., Gennadiev A.N., Olson K.R., Markelov M.V., Zhidkin A.P., Chendev Ju.G., Kovach R.G. Spatial and temporal features of soil erosion in the forest-steppe zone of the East-European Plain. *Pochvovedenie (Pedology)*, 2011, No. 7, pp. 861–869 (in Russ.).
15. Petelko A. I., Golosov V. N., Belyaev V. R. Experience of design of system of counter-erosion measures // Proceedings of the 10-th international symposium on river sedimentation. 2007. Vol. 1. P. 311–316.
16. **РУС.:** Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Важнова Н.А. Пространственно-временные изменения основных показателей температурно-влажностного режима в Приволжском федеральном округе // Метеорология и гидрология. 2014. № 10. С. 19–31.
АНГЛ.: Perevedencev Ju.P., Shantalinskij K.M., Vazhnova N.A. Spatiotemporal Variations of Major Parameters of Temperature and Humidity Regime in the Volga Federal District. *Meteorologija i hidrologija (Meteorology and Hydrology)*, 2014, No. 10, pp. 19–31 (in Russ.).
17. **РУС.:** 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.
АНГЛ.: Sobolev S.S. *Razvitie jerozionnyh processov na territorii evropejskoj chasti SSSR i bor'ba s nimi* (Development of Erosion Processes in European USSR and Their Control). Moscow-Leningrad: USSR Academy of Sciences (Publ.), 1948, V. 1, 305 p.
18. **РУС.:** Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
АНГЛ.: Lakin G.F. *Biometrija* (Biometrics). Moscow: High school (Publ.), 1990, 352 p.

19. РУС.: Рысин И.И., Григорьев И.И., Зайцева М.Ю., Голосов В.Н.

Динамика линейного прироста оврагов Вятско-Камского междуречья на рубеже столетий // Вестник МГУ, серия География, в печати.

АНГЛ.: Rysin I.I., Grigor'ev I.I., Zaytseva M.Ju. and Golosov V.N.

Dynamic of linear retreat of gully head within Vyatsko-Kamskoe interfluve on turn of the centuries. *Vestnik MGU, Serija Geografija* (*Moscow University Vestnik. Series Geography*), in the press (in Russ.).

Резюме

В статье анализируются результаты длительных мониторинговых наблюдений за линейным приростом вершин оврагов, расположенных в различных частях Республики Удмуртия, которые охватывают практически весь период глобального потепления (1978-2014). Основной акцент делается на сопоставление влияния различных климатических характеристик на сокращение темпов прироста за два примерно равных по продолжительности периода (1978-1997 и 1998-2014 гг.) для различных регионов Удмуртии и республики в целом. Установлено, что среднегодовые темпы прироста сократились с 1,3 м/год до 0,3 м/год для периодов наблюдений 1978-1997 и 1998-2014 гг. соответственно. На основе данных наблюдений за приростом вершин, проводившихся дважды в год (после снеготаяния и осенью после завершения периода выпадения стокоформирующих дождей) на участках, расположенных на небольшом удалении от Ижевска, выявлены изменения в доли вклада талого и ливневого стока в прирост оврагов. До 1997 года включительно 80% прироста вершин происходило в период снеготаяния, тогда как после 1997 года доля вклада талого стока уменьшилась до 53%. Анализ собранных и обработанных данных по 6 метеорологическим станциям и 4 гидрологическим постам, расположенным вблизи ряда участков мониторинга, позволил выявить некоторые закономерности в изменении влияния различных гидроклиматических параметров на темпы прироста оврагов в пределах всей исследуемой территории и в ее различных частях. Основной причиной сокращения темпов прироста вершин оврагов явилось снижение глубины промерзания почв, что привело к значительному уменьшению поверхностного стока. Возросшее влияние осадков ливневого характера более отчётливо проявилось на востоке и севере Вятско-Камского междуречья, тогда как в западе наблюдается более хорошая корреляционная связь темпов роста оврагов с глубиной промерзания почв. Наиболее

значимый прирост оврагов в тёплое время года происходит при выпадении осадков с суточным слоем > 40 мм.

Ключевые слова: темпы роста оврагов, мониторинг, Удмуртская Республика, гидроклиматические параметры, пространственно-временной анализ

Summary

Results of long-term monitoring of the gully head retreat during almost entire period of global warming (1978-2014) in the different part of Udmurt Republic are analysed. Assessment of different climatic parameters on the gully head retreat rates (GHRR) for the two time intervals (1978-1997 and 1998-2014) for the different parts of Udmurtiya and the republic as a whole is the main content of article. It was determined that GHRR decreased from $1,3 \text{ m yr}^{-1}$ to $0,3 \text{ m yr}^{-1}$ for observation period 1978-1997 and 1998-2014 respectively. Based on the observation data located nearby from Izhevsk twice per year (after snow-melting and in autumn after period of rain-storms events), some changes in the proportional input of surface runoff formed during snow-melting and rain-fall events in GHRR was found. 80% of gully head retreat was occur during snow-melting for period 1978-1997, and proportional input of surface runoff in gully head retreat decreases after 1997 until 53%. Some spatial patterns of changes of hydro-climatic parameters influence on GHRR for the different regions of Udmurt republic and republic as a whole were determined based on analysis of data collected on 6 meteorological and 4 hydrological stations. Reduction of the frozen soil depth in winter time led to decreasing of the surface runoff, that caused the main reason decreasing of GHRR. Increasing influence of the rain-storm runoff more clearly manifested within the East and North parts of Vyatsko-Kamskoe interfluve, while higher correction between GHRR and depth of frozen soil was found for the west parts of republic. The most significant increase of gully length is observed during warm part of the year after rains-storms with layer $> 40 \text{ mm}$.

Key words: gully head retreat rate, monitoring, Udmurt Republic, hydro-climatic parameters, spatial-temporal analysis.

Таблица

Коэффициенты корреляции (r), коэффициенты детерминации (η^2) и корреляционные отношения (η) скоростей роста оврагов и гидрометеорологических показателей по ключевым участкам УР за 1998-2014 г.

№ п/п	Гидрометео- рологические показатели и коэффициенты связи	Ключевые участки					
		Девятое - Мазунино	Большое Волково	Черная- Светлое - Фертики	Ключевые участки 4 – 8 у Ижев- ска	Мул- лино	
1	Qm/Qn	r	0.4651	-0.2717	0.3038	0.2332	0.3665
		η^2	0.3396	0.4067	0.6207	0.2289	0.1967
		η	0.5828	0.6378	0.7878	0.4784	0.4435
2	T	r	0.0647	0.0127	0.6842	-0.1065	0.0131
		η^2	0.1681	0.4798	0.3189	0.2220	0.1086
		η	0.4100	0.6926	0.5647	0.4712	0.3295
3	$H\theta$	r	0.3648	0.0261	-0.1013	0.0500	0.1465
		η^2	0.2082	0.1042	0.1558	0.3122	0.4130
		η	0.4563	0.3228	0.3947	0.5594	0.6426
4	$H\theta/T$	r	0.4202	0.2663	-0.2259	0.3211	0.0170
		η^2	0.3313	0.1656	0.1175	0.1725	0.0524
		η	0.5756	0.4070	0.3431	0.4154	0.2290
5	Mn	r	-0.3522	0.6819	-0.1977	0.1430	0.0999
		η^2	0.3162	0.5740	0.1839	0.1663	0.1129
		η	0.5623	0.7577	0.4288	0.4078	0.3360
6	R	r	0.2613	-0.3246	0.5626	0.0730	0.3241
		η^2	0.1232	0.2819	0.0942	0.2274	0.3010
		η	0.3510	0.5310	0.3069	0.4769	0.5486
7	Rw	r	0.2625	-0.4631	0.3007	0.0141	0.3555
		η^2	0.1770	0.3029	0.2223	0.1082	0.2297
		η	0.4207	0.5503	0.4715	0.3289	0.4792
8	Rs	r	0.1922	-0.5359	-0.0398	-0.1384	0.4510
		η^2	0.2765	0.5435	0.2289	0.2427	0.2644
		η	0.5258	0.7372	0.4784	0.4926	0.5142
9	Rd	r	-0.0096	0.2077	0.0352	-0.1374	0.5569
		η^2	0.1381	0.2249	0.4422	0.2349	0.4462
		η	0.3716	0.4742	0.6650	0.4846	0.6680

Продолжение таблицы

10	Rs_{max}	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	Rw_{max}	r	-0.0685	-0.3933	0.4274	-0.1046	0.6350
		η^2	0.4108	0.2179	0.3775	0.2901	0.3923
		η	0.6409	0.4668	0.6145	0.5386	0.6263

Условные обозначения: Qm/Qn - интенсивность половодного стока, T - продолжительность снеготаяния, Hw - максимальные запасы воды в снеге, Hw/T - интенсивность снеготаяния, Mn - максимальная глубина промерзания почвы, R - сумма осадков, Rw - сумма осадков теплого периода (апрель – октябрь), Rs - сумма осадков летних месяцев, Rd - максимальное суточное количество осадков по летним месяцам, Rs_{max} - сумма максимальных суточных осадков по летним месяцам, Rw_{max} - сумма максимальных суточных осадков теплого периода (апрель – октябрь).

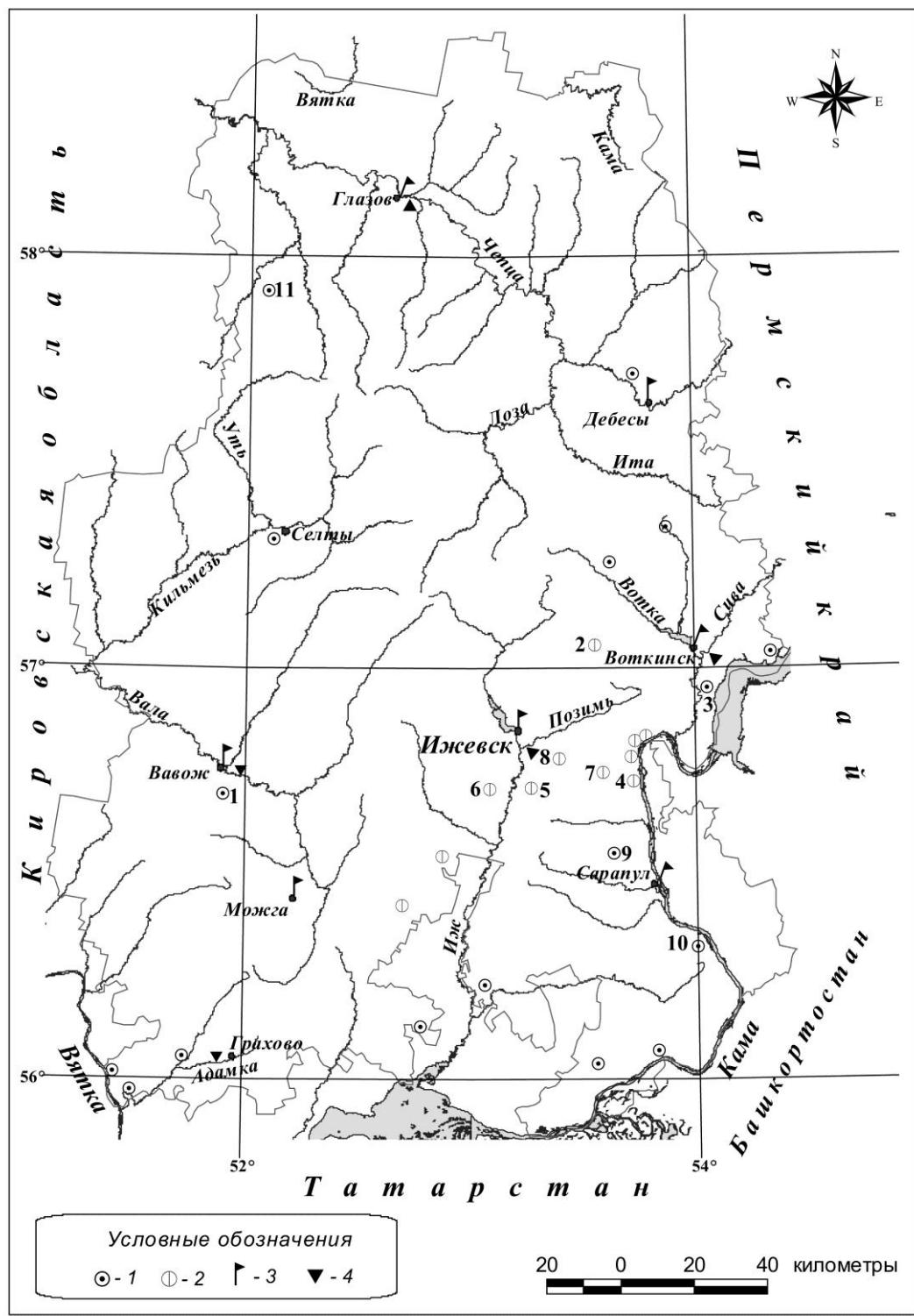
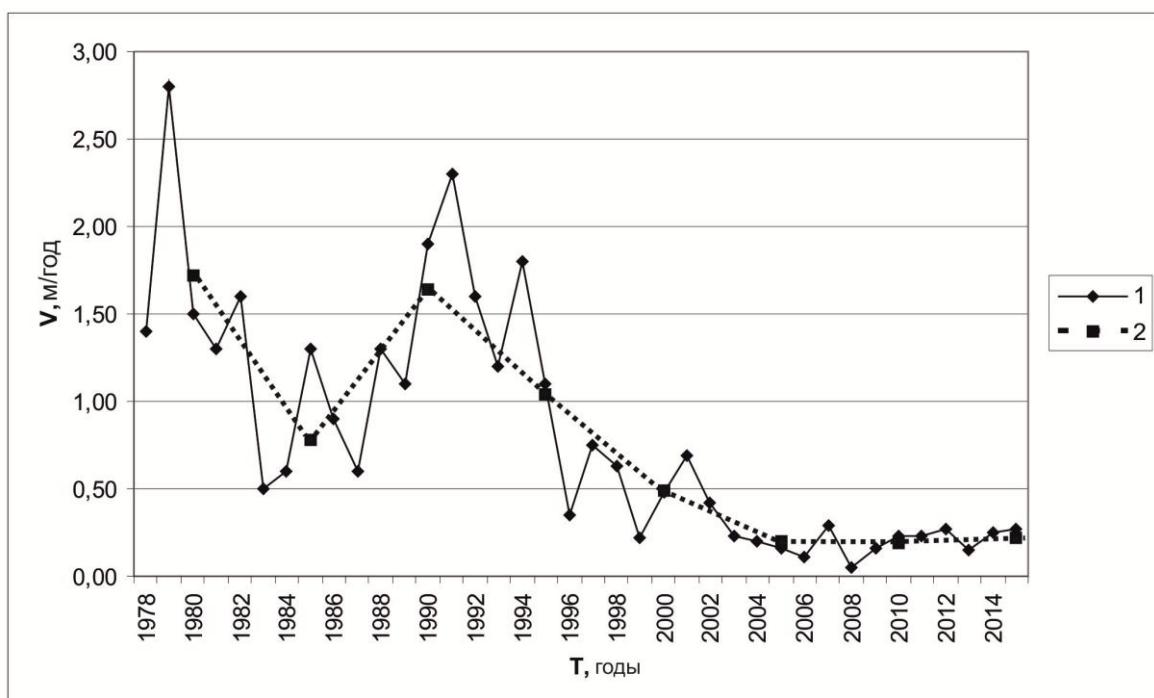


Рисунок 1.

A



Б



Рисунок 2.

I

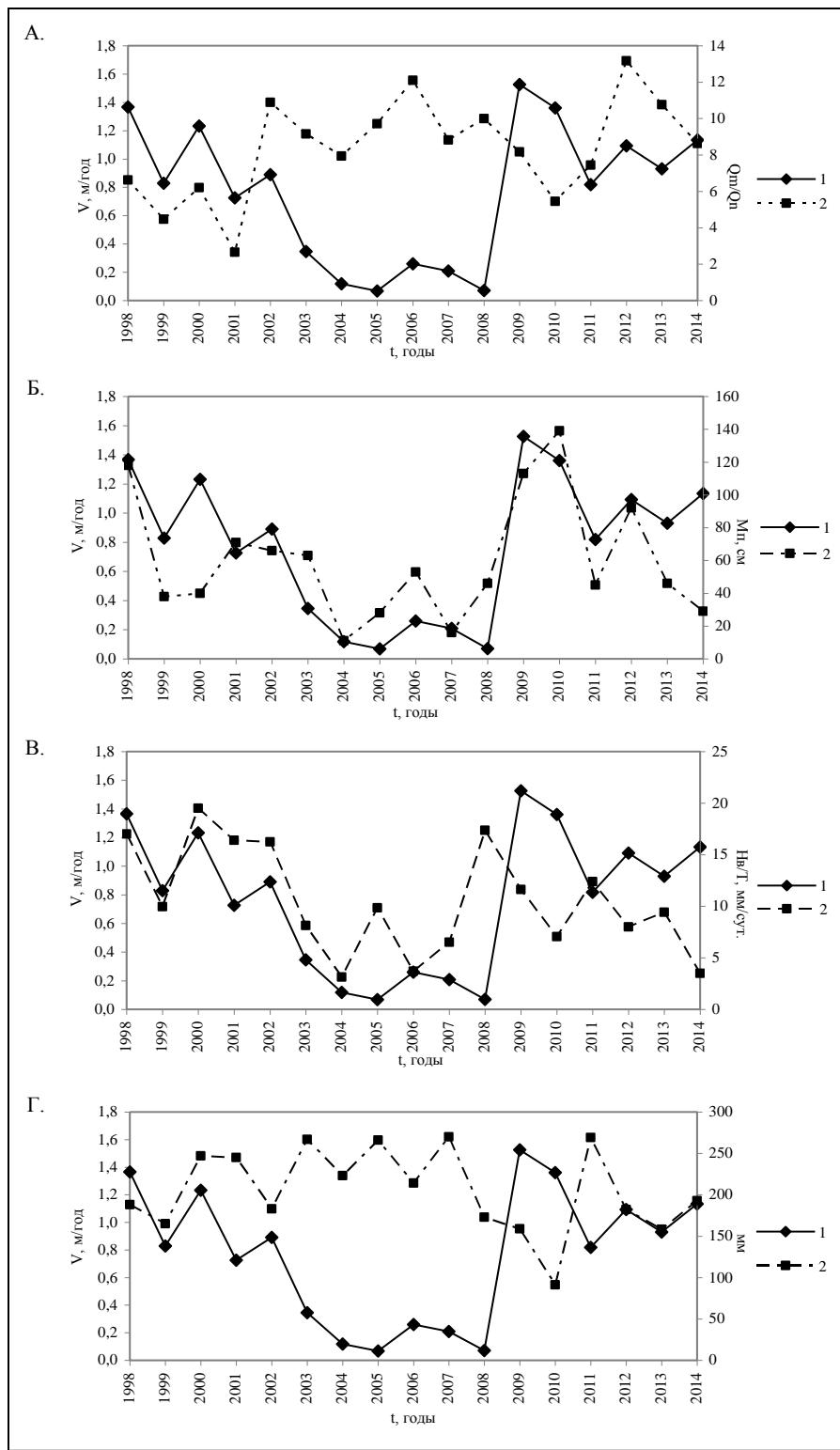


Рисунок 3-І.

II

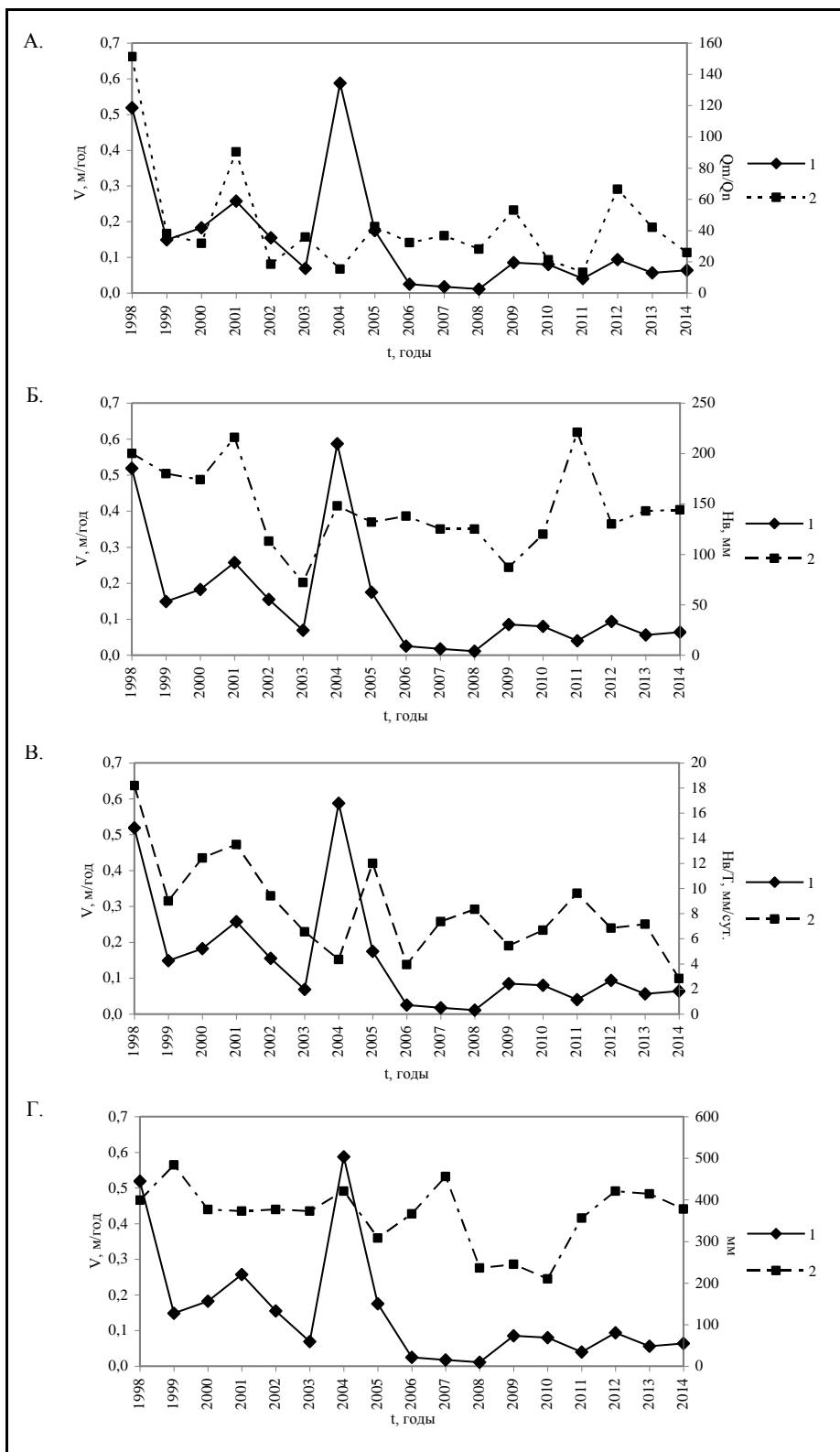


Рисунок 3-II.

III

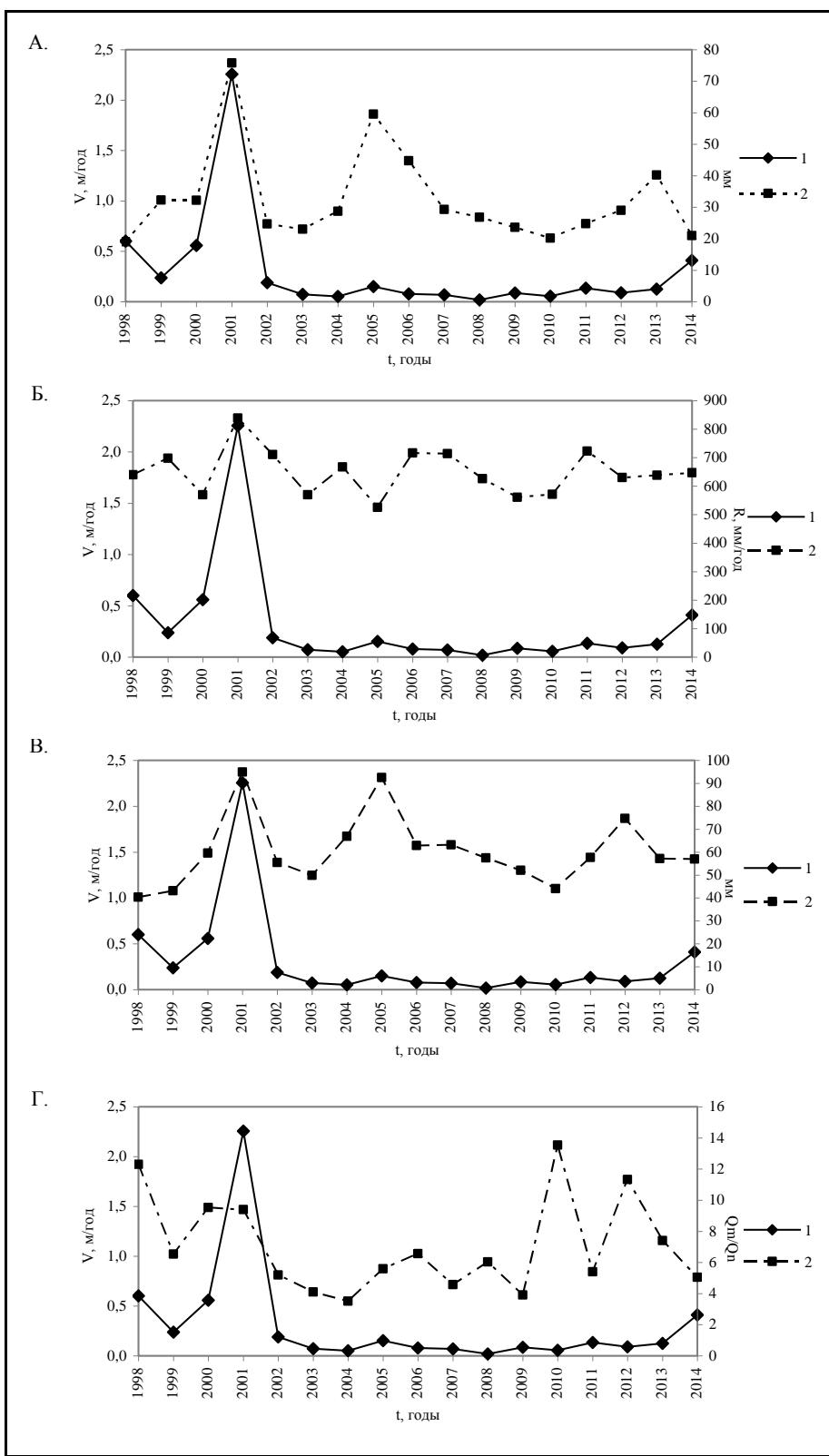


Рисунок 3-III.

IV

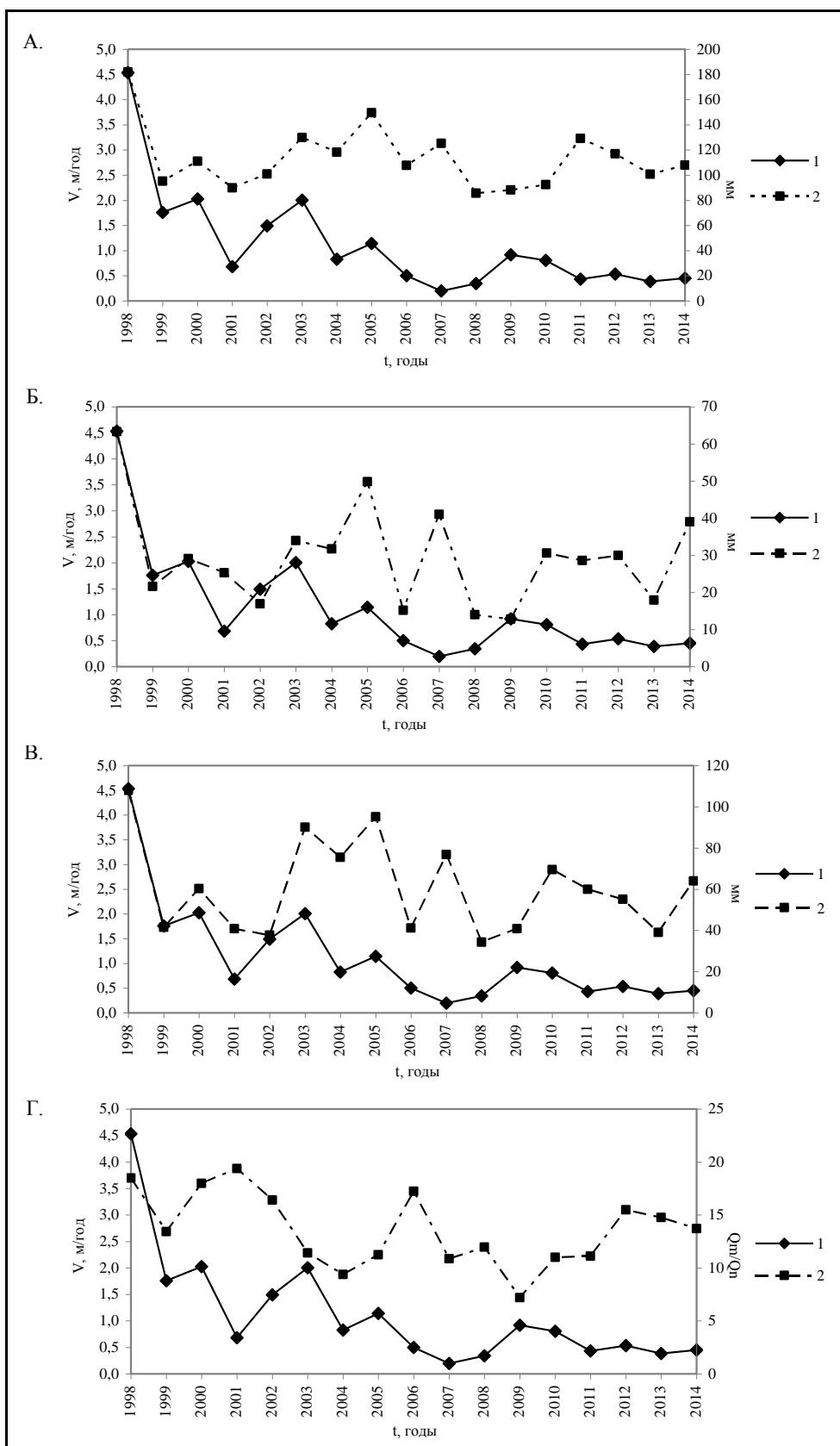


Рисунок 3-IV.

Подрисуночные подписи:

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. Мартыново” (1 овраг), 9 – “Девятое” (2 оврага), 10 – “Мазунино” (6 оврагов), 11 – “Муллино” (3 оврага).

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

Рисунок 2Б. Соотношение долевого вклада талого стока в ежегодный прирост оврагов (1) и максимального слоя суточных осадков теплого периода года (2) на ключевых участках 4 - 8 у г. Ижевска.

Рисунок 3-І. Динамика прироста оврагов и гидрометеорологические показатели на территории ключевого участка Большое Волково за период 1998-2014 гг. 1 – скорость прироста оврагов (V , м/год); 2 – гидрометеорологический показатель: А – интенсивность половодного стока на р. Вала (Q_m/Q_n), Б – максимальная глубина промерзания почв (M_p , см), В – интенсивность снеготаяния (H_b/T , мм/сут.), Г – сумма осадков летних месяцев (мм).

Рисунок 3-ІІ. Динамика прироста оврагов и гидрометеорологические показатели на территории ключевых участков Девятое – Мазунино за период 1998-2014 гг. 1 – скорость прироста оврагов (V , м/год); 2 – гидрометеорологический показатель: А – интенсивность половодного стока на р. Адамка (Q_m/Q_n), Б – максимальные запасы воды в снеге (H_b , мм), В –

интенсивность снеготаяния (Hv/Γ , мм/сут.), Γ – сумма осадков теплого периода года (мм).

Рисунок 3-III. 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); 2 – гидрометеорологический показатель: А – максимальное суточное количество осадков за летние месяцы (мм), Б – годовая сумма осадков (R , мм), В – сумма максимальных суточных осадков за летние месяцы (мм), Г – интенсивность половодного стока на р. Сива (Qm/Qn).

Рисунок 3-IV. Динамика прироста оврагов и гидрометеорологические показатели на территории ключевого участка Муллино за период 1998-2014 гг. 1 – скорость прироста оврагов (V , м/год); 2 – гидрометеорологический показатель: А – сумма максимальных суточных осадков за теплый период года (мм), Б – максимальное суточное количество осадков за летние месяцы (мм), В – сумма максимальных суточных осадков за летние месяцы (мм), Г – интенсивность половодного стока на р. Чепца (Qm/Qn).

Данные об авторах:

Рысин Иван Иванович, Rysin Ivan Ivanovich ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Институт экологии и природопользования, в.н.с. и ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», Институт естественных наук, заведующий кафедрой экологии и природопользования, профессор;

Дом. адрес: 426008, г. Ижевск, ул. Пушкинская, д. 272, кв. 2 (тел. дом. 7-3412-404-989);

Служ. адрес: 426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1. ФГБОУ ВО «Удмуртский госуниверситет», институт естественных наук, кафедра экологии и природопользования (тел. служ. 7-3412-916-433, моб. 7-919-917-9063);

e-mail: rysin.iwan@yandex.ru

Голосов Валентин Николаевич, Golosov Valentin Nikolaevich, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Институт экологии и природопользования и ФГАОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов, в.н.с.

Служебный адрес: Кремлёвская ул., 18, Казань, 420000

e-mail: golossov@gmail.com

Григорьев Иван Иванович, Grigoriev Ivan Ivanovich, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», Институт естественных наук, кафедра геодезии и геоинформатики, старший преподаватель, к.г.н.

Служ. адрес: 426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1. ФГБОУ ВО «Удмуртский госуниверситет», институт естественных наук, кафедра геодезии и геоинформатики (тел. служ. 7-3412-916-458);

e-mail: ivangrig@yandex.ru

Зайцева Мария Юрьевна, Zaytseva Maria Yrievna, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», Институт естественных наук, кафедра экологии и природопользования, аспирантка;

e-mail: zaytseva_geo@mail.ru