

Пространственно-временные закономерности изменчивости склонового и речного стока и особенности их влияния на развитие эрозионных процессов в Южном Предуралье

Гареев А.М.¹, Ермолаев О.П.², Голосов В.Н.^{2,3}

¹ Башкирский государственный университет

² Казанский (федеральный) университет

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

В умеренном климатическом поясе при отсутствии антропогенного воздействия на водосборы рек бассейновая составляющая стока наносов по существу не сказывается на формировании стока наносов рек, так как высокое проективное покрытие поверхности почвы растительностью практически полностью предохраняет её от смыва и только локальные размывы, формирующиеся на участках, преимущественно, относительно крутых бортах долин рек после пожаров естественного происхождения или по скотобойным тропам могут являться источниками наносов. Основной сток наносов формируется за счёт процессов эрозии русел рек, что предопределяет его нарастание по мере увеличения площади речного бассейна (Маккавеев, 1955; Dedkov, 2004; Чалов, 2018). Земледельческое освоение территории кардинально меняет соотношение русловой и бассейновой составляющих в стоке наносов рек в пользу последней, так как существенно увеличивается поток наносов, формирующихся за счёт смыва и размыва пахотных земель, участков сведения леса, выбитых в связи с перевыпасом пастбищ и других антропогенно нарушенных земель (Ларионов, 1993; Литвин, 2002).

Южное Предуралье относится к регионам России, где сравнительно недавняя массовая распашка земель привела к резкому увеличению стока наносов на речных водосборах, усилению темпов смыва почв и заилению малых рек (Голосов, Иванова, 1993; Голосов, 1996). В последние десятилетия на формирование стока воды и наносов на водосборах рек существенно повлияли изменения климата и землепользования. Изменения землепользования были обусловлены экономическими причинами, связанными с распадом СССР и коренной перестройкой сельскохозяйственного производства, тогда как потепление климата привело к некоторым изменениям в формировании стока воды и наносов, выразившихся в сокращении поверхностного стока в период весеннего снеготаяния при синхронном увеличении зимнего и летнего меженного стока

в южной половине Восточно-Европейской равнины (Фролова и др., 2015; Барабанов и др., 2018)

Территория Южного Предуралья располагается на юго-восточной части Восточно-Европейской равнины. Литология коренных пород представлена глинами, песчаниками, мергелями и песками, перекрытыми на более выровненных участках, преимущественно, позднечетвертными суглинками делювиального происхождения (Геология.,1964). Породы и отложения, слагающие изучаемую территорию, достаточно податливы к смыву и размыву, что создает благоприятные условия для активизации эрозионных процессов на водосборе в случае нарушения естественного растительного покрова, а также русловой эрозии временных и постоянных водотоков. Другой особенностью территории является достаточно сильно расчленённый рельеф Бугульминско-Белебеевской возвышенности и возвышенности Общий Сырт, который занимают большую часть Южного Предуралья. Высотные отметки указанных возвышенностей колеблются в пределах 300-500 м., а относительные превышения достигают 80-100 м. Тем самым, рельеф территории является важным фактором развития процессов плоскостной и линейной эрозии.

По ландшафтно-климатическим условиям в пределах Южного Предуралья довольно отчетливо выделяются лесная, расположенная в основном в предгорьях Урала, а также лесостепная и степная зоны, сменяющие друг друга на равнине. Природные комплексы, характерные для указанных зон, в зависимости от влияния масштабов антропогенных нагрузок при существующих темпах изменения показателей тепло- и влагообеспеченности в многолетнем разрезе к настоящему времени во многом трансформированы.

В целом, относительно оценки пространственной и временной изменчивости климатических стокообразующих факторов, можно отметить следующее:

- осадкам в большей мере, чем температуре воздуха, свойственна изменчивость в пространстве и времени;
- характерна зависимость средних показателей годовой суммы атмосферных осадков от абсолютных отметок местности;
- пространственное изменение климатических факторов, определяющих формирование склонового и речного стока, происходит в основном с запада на восток.

Некоторые элементы рельефа (местные поднятия и понижения, уклоны склонов и др.), рассматриваемые как постоянные стокоформирующие факторы, также подвержены пространственной изменчивости вследствие

региональных и локальных движений земной коры, а также проявления экзогенных процессов.

Пространственная и временная изменчивость интенсивности влияния таких стокоформирующих факторов, как лесистость, видовой состав растительных сообществ, водно-физические свойства почв и грунтов, во многом зависит от степени освоенности территорий (речных водосборов), темпов и масштабов влияния хозяйственной деятельности человека.

Следует отметить то, что степень и интенсивность изменения природы в целом и отдельных ее компонентов человеком неотделимы от истории развития человеческого общества. Особенно четко прослеживается эта зависимость на региональном уровне, т.к. для каждого региона характерны свои природные ресурсы, история заселения, хозяйственного освоения и, следовательно, различная степень хозяйственного изменения природной среды. Примером в этом может служить история хозяйственного освоения Южного Предуралья, которое в разных ее частях начиналось в разное время и проходило неодинаково.

До XVI в. природные комплексы на значительной территории практически не испытывали влияния человека, поскольку до этого времени основным видом хозяйственной деятельности являлось очаговое скотоводство. Первые шаги хозяйственного, а именно сельскохозяйственного освоения территории были предприняты в середине XVI в. переселенцами из центральных районов Европейской части России. Экстенсивное сельское хозяйство и низкий уровень агротехники того времени послужили причиной начала бессистемной и сплошной рубки предуральских лесов (Гареев, Хабибуллин, 2010). Одновременно с сокращением лесов происходило увеличение площади сельскохозяйственных земель. Первоначально распашке подвергались земли вокруг населенных пунктов и центральной части Предуралья с наиболее плодородными черноземными почвами. В XVII – XVIII вв., в результате увеличения населения произошло сельскохозяйственное освоение более обширных пространств. К началу XIX в. размеры усадеб и пашен составляли уже около 25% всех земельных угодий. Однако, как было показано (Дедков, Мозжерин, 1984; Голосов, 2006), только при распашке свыше 40% площади водосбора, бассейновая составляющая стока наносов оказывает значимое влияние на сток наносов рек. Значительные изменения в южном Предуралье произошли во второй половине XIX века, когда только за период 1865 – 1885 гг. площадь лесов сократилась на 1 млн. десятин, а площадь пахотных угодий увеличилась на 1,5 млн. десятин. Особенно резкое уменьшение площади естественных природных комплексов в связи с распашкой земель произошло в начале и

середине двадцатого столетия. Причиной увеличения доли сельскохозяйственных угодий в начале XX в. явился указ 1898 г. о размежевании башкирских земель между сельскими общинами. Тогда башкиры – вотчинники получили по 15, а припущенники – 7,5 десятин земли на душу, большая часть которой в течение 5-6 лет была превращена в пашню. Резкое увеличение доли пашни в структуре сельхозугодий на юге региона в 1950-60 гг. связано с освоением целинных и залежных земель. Так, только в 1954-56 гг. в Башкортостане распашке было подвергнуто 525 тыс. га земель в пределах степных и лесостепных территорий. Сопоставимый прирост пахотных земель в этот же период произошёл и в Оренбургской области, когда в период с 1954 по 1963 гг. было распахано 1,8 млн. га. Следует учитывать, что в Оренбуржье значительная часть целинных земель находилась в Зауралье? а на часть Оренбургской области, расположенной в Предуралье приходилось не более трети от общей площади впервые распаханных земель (Географический атлас.. , 1999).

Анализ темпов сокращения лесистости и увеличения распаханности территории во времени показывает, что они взаимосвязаны и взаимообусловлены. Первоначально периодическое увеличение показателя распаханности на 5% вызывало сокращение лесистости на 20%, т.е. соотношение между ними составляло 1:4. В последующем данное соотношение уменьшилось до 1:1,25. Это обусловлено тем, что с начала XX в. распашке подвергались, в основном, территории, обезлесенные в прошлом.

До 1930-40-х гг., несмотря на высокие темпы увеличения площади сельхозугодий, ухудшение качественных характеристик почв было минимальное, что объясняется примитивностью применяемой сельскохозяйственной техники, а также практически полным отсутствием химических средств защиты растений. К середине 50-х гг. XX века на всей территории Южного Предуралья завершился переход к комплексному земледельческому хозяйству с использованием сельскохозяйственных машин. В это время проводилась распашка целины без учета принципов охраны земель. Это, а также высокий уровень химизации в сельском хозяйстве, привело к ухудшению водно-физических и агрохимических свойств почв, потере гумуса, усилению процессов эрозии, а местами и дефляции, увеличению густоты овражной сети и, как следствие, повышению мутности стока рек. Так, анализ материалов ГУП «Башземоценка» показывает, что в течение 30 лет площадь земель, подверженных эрозии, увеличилась почти на 1 млн. га, а за 1955-80 гг. гумусовый горизонт почвенного покрова уменьшился в среднем на 4,6 см. В целом, за последнее

столетие почвы потеряли около 1/3 гумусового горизонта (Хазиев и др., 1997).

Следует обратить особое внимание на анализ особенностей влияния животноводства на деградацию растительного и почвенного покровов, развитие эрозионных процессов, особенно в условиях чрезмерного выпаса скота. Так, в пределах Южного Предуралья интенсивное расширение сельскохозяйственных земель сопровождалось организацией бессистемной пастбы скота, преимущественно в пределах сохранившихся лесных угодий и на залуженных крутых склонах. Продолжительная эксплуатация деградированных пастбищ привела к трансформации склонового, а затем и речного стока (малых и средних рек), что явилось причиной активизации развития эрозионных и русловых процессов (Гареев, Хабибуллин, 2010).

В целом, в условиях повсеместного развития эрозионных процессов в районах, подверженных влиянию экстенсивной сельскохозяйственной деятельности (на пашне и пастбищах), эродированность земель к 1990-2000 гг. достигла более 50-60%.

Так, в Белебеевском районе Республики Башкортостан при освоении территории, составившей 62,7%, эродированность сельскохозяйственных земель составляет 65,8% (Гареев, Хабибуллин, 2010). Динамика изменения площади эродированных земель (А,%) в многолетнем разрезе по указанному району отражена на рис. 1.

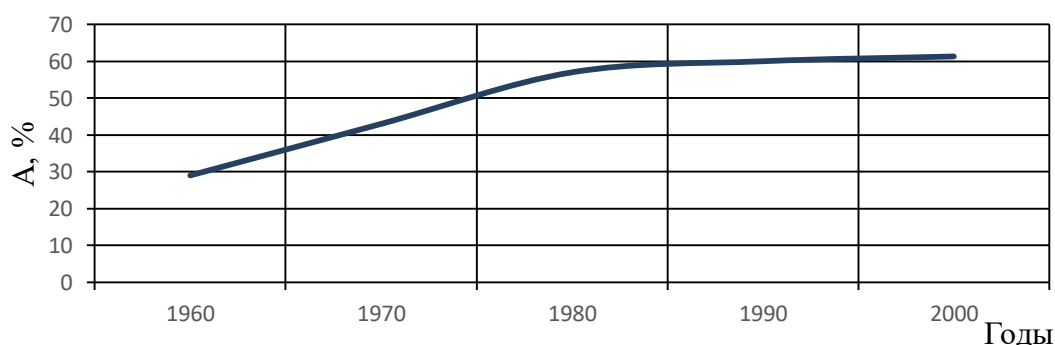


Рис. 1. Динамика площадей смытых почв в Белебеевском районе.

А – удельный вес смытых почв.

Ежегодно с пашни смывается большое количество почвенного материала. Контрастность режима стока рек возросла в результате вырубке лесов. Наибольшей мутностью воды в Южном Предуралье отличается р. Сунь, в которой среднегодовые значения мутности в 2000-х гг. превышали 500 г/м³. Общий фон среднегодового стока взвешенных наносов на территории исследования, определенный для бассейнов малых рек,

находится в интервале 100-200 т/км² в год, доходя в отдельных бассейнах до 200-500 т/км² в год (Mukharamova et al., 2018; Yermolaev et al, 2018).

С точки зрения оценки влияния антропогенных факторов на активизацию развития эрозионных процессов и увеличение мутности речных вод представляет большой интерес анализ изменчивости мутности речных вод в многолетнем разрезе. Следует отметить, что наблюдения за стоком взвешенных наносов проводятся на небольшом количестве гидрометрических постов. Наблюдениями не охвачены многочисленные малые водотоки, представляющие большой интерес для исследования процессов заиления.

Для анализа многолетней динамики изменения мутности речных вод построена интегральная кривая среднегодовых расходов взвешенных наносов (ΣR) для р. Дёма, гидропост д. Бочкарева. Верховья бассейна реки располагаются в пределах Оренбургской области, а остальная часть - в Республике Башкортостан. Анализ характеристик изменения ΣR позволяет отчетливо выявить влияние динамики земледельческого освоения бассейна на тенденцию увеличения среднегодовых расходов взвешенных наносов (Рис.2).

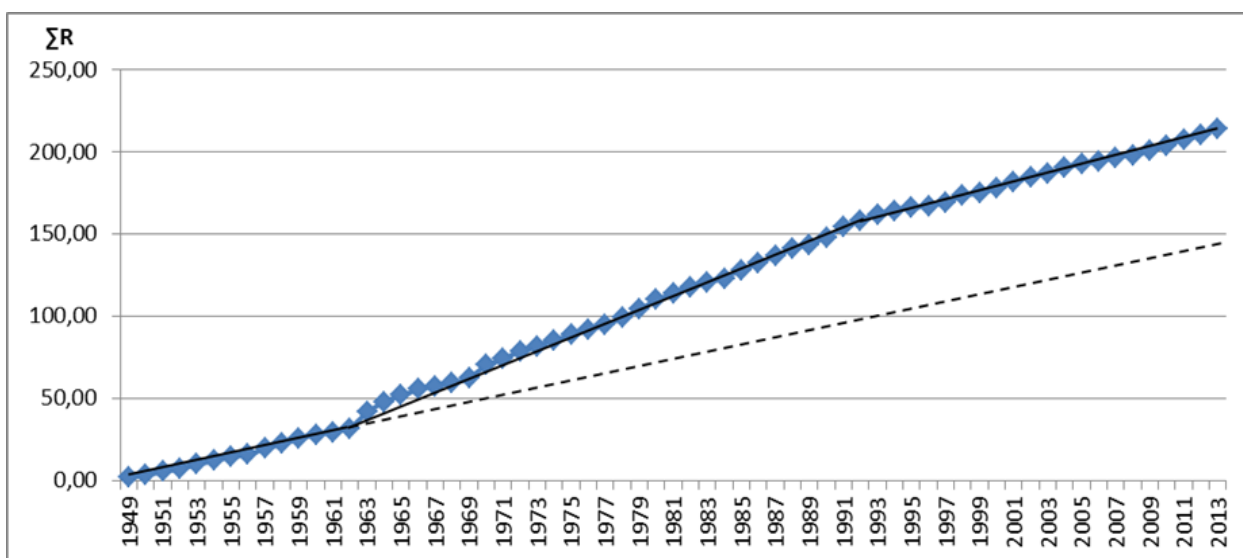


Рис. 2. Нарастающие (интегральные) суммы среднегодовых расходов взвешенных наносов по р. Дёма – д. Бочкарева.

Наиболее значительный прирост среднегодовых расходов наносов отмечается в период 1963-1991 гг., когда площади пашни и нагрузка на пастбища были максимальными. После 1991 г., когда в связи с распадом СССР резко сократились площади обрабатываемых земель, среднегодовые расходы наносов практически вернулись к значениям, которые наблюдались

до 1963 г. Кроме того, на сокращении стока наносов сказалось и снижение максимальных расходов воды в период весеннего половодья, обусловленное уменьшением поверхностного стока со склонов в период весеннего снеготаяния (Сафина, Голосов, 2017; Гусаров и др., 2018). Известно, подобная тенденция наблюдается и в других регионах южной половины ЕТР, где после 1991 г. произошло сокращение площади пашни (Фролова и др., 2015).

Анализируя характеристики внутригодового распределения среднееголетних расходов взвешенных наносов в реках, водосборы которых испытывают антропогенные нагрузки, можно констатировать то, что основной сток наносов проходит во время весеннего половодья. Так, по многолетним наблюдениям, проведенным БашУГМС на р. Стерле (г/п д. Отрадовка) доля весеннего стока взвешенных наносов от годового составляет 95-97%. Ранее наибольшие расходы наносов на реках наблюдались в апреле. В течение последних десятилетий происходит смещение дат начала половодья на более поздние сроки, что привело к росту стока наносов в мае и снижению в апреле (Рис.3,4).

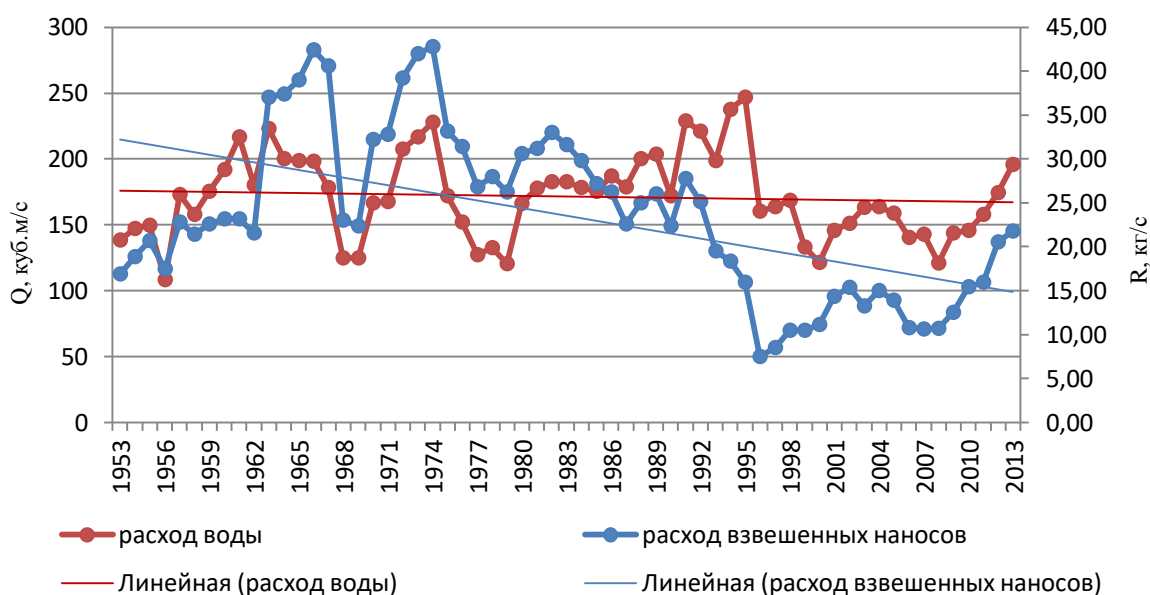


Рис. 3. Скользящие 5-летние расходы воды и взвешенных наносов за апрель по р. Дёма – д. Бочкарёвка.

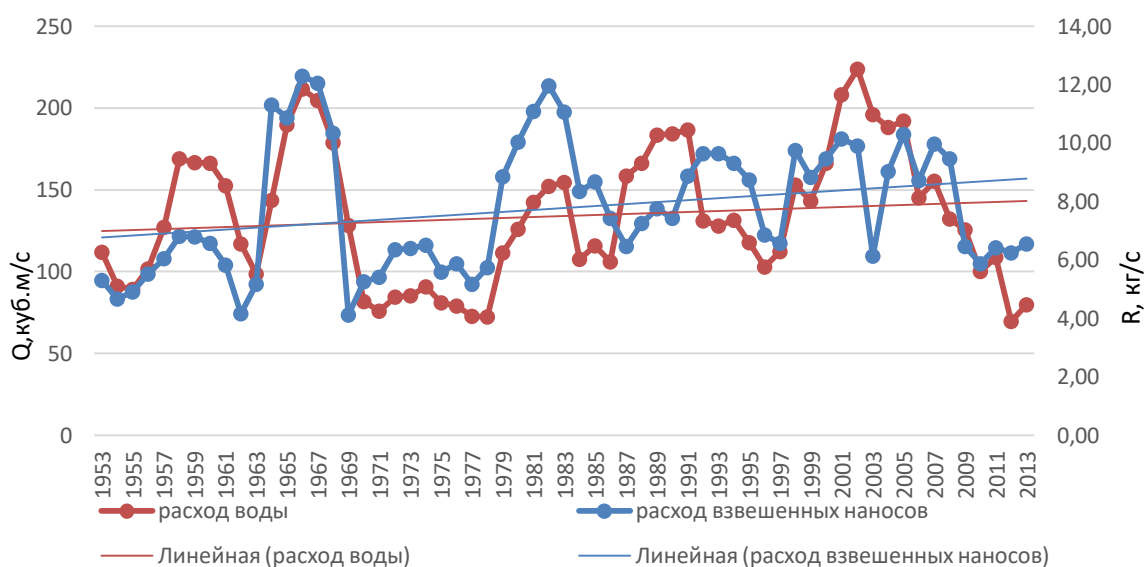


Рис. 4. Скользящие 5-летние расходы воды и взвешенных наносов за май по р. Дёма – д. Бочкарёвка.

Указанные изменения объясняются тем, что на реках с весенним половодьем наблюдается наиболее значительное поступление наносов с площади бассейна в речную сеть в первой половине фазы водного режима. В составе наносов в этот период времени преобладают мелкие фракции (<0,005 мм). Во второй фазе водность же рек продолжает возрастать в основном за счёт внутриводосборного стока, особенно значительного на залесённых и залуженных частях бассейна, а в последние годы - и на пашне в связи с сокращением глубины промерзания почв и сокращением поверхностного стока со склонов (Барабанов и др., 2019), мутность которого ничтожно мала. Одновременно по мере роста расходов воды в реке при прохождении половодья повышается крупность переносимых наносов, что является результатом повышения транспортирующей способности потока (Маккавеев, 1955, Чалов, 2018). На малых реках, в отличие от средних и больших, обнаруживается большая синхронность в изменениях расходов воды и расходов взвешенных наносов.

Выделение многолетних периодов повышенного и пониженного стока наносов можно наглядно проследить на основании анализа графиков разностных интегральных кривых, определяемых через выражение

$$\frac{\sum(Ki-1)}{Cv} = f(t),$$

где Ki – модульные коэффициенты, Cv - коэффициент вариации, t – время (в годах).

Так, достаточно чётко прослеживается, что период времени с 1960-х до начала 1990-х гг. характеризуется наличием повышенного стока взвешенных наносов (Рис.5). Это, как было показано ранее, приходится на период наибольшей суммарной антропогенной нагрузки на речные водосборы.

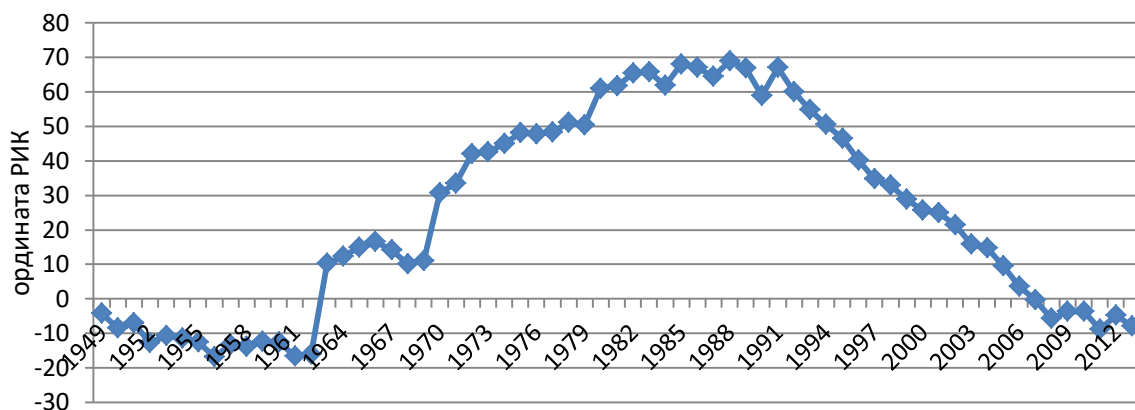


Рис. 5. РИК многолетнего стока взвешенных наносов по г/п р. Дёма – д. Бочкарёва.

С 1990-х годов проявляется тенденция формирования пониженного стока наносов, что связано с переходным периодом после развала СССР в 1991 г. и сокращением поступления наносов бассейнового происхождения, вызванного резким снижением поверхностного стока со склонов в период снеготаяния. Начиная с 2000-х гг., в реках, протекающих в пределах Южного Предуралья, сформировалась маловодная фаза стока весеннего половодья. Это ещё более способствует заметному снижению вклада бассейновой составляющей в сток наносов рек региона и, соответственно, расходов взвешенных наносов малых рек.

С точки зрения понимания общих закономерностей, отражающих активизацию развития эрозионных процессов, в последующем повышения показателей мутности речных вод, представляют большой интерес результаты исследований, проводимых на кафедре Гидрометеорологии и геоэкологии БашГУ с 1995 г. и по настоящее время. Наиболее показательными являются результаты экспериментов и наблюдений, проведенных в 2007-2012 гг. на стоковых площадках, расположенных на Удрякбашевском и Урмекеевском природных стационарах, расположенных в пределах изучаемой территории. Полученные по ним результаты ранее были опубликованы (Гареев, 2003, 2014; Гареев, Зайцев, 2015; Гареев, Хабибуллин, 2010).

Показатели модулей склонового стока зависят от влияния различных уровней деградации природных комплексов на водосборе (Табл.1). Как видно

из указанной таблицы, деградация природных комплексов на водосборах способствует многократному увеличению модулей стока, соответственно, эродирующей способности водных потоков на пастбищах.

Таблица 1

Показатели увеличения склонового стока в зависимости от влияния различных уровней деградации природных комплексов на водосборе [2].

№ п/п	Степень деградации	Характеристики	Модули стока, л/с·км ²
1	Отсутствует	Сохранились типичные характеристики природных комплексов.	0
2	Слабая	Произошли небольшие изменения биопродуктивности растений, видового состава; местами обнаруживается уплотнение почвенного покрова на уровне проявления пастбищной дигрессии.	50–150
3	Средняя	Участки характеризуются заметной разреженностью древесной и травянистой растительности, сформировались скотобойные тропы, произошло сокращение видового состава растительности; появились неофиты, характерные для деградированных территорий. Обнаруживается смыв почвы.	180–250
4	Сильная	Произошло коренное изменение видового состава растительности, сохранились виды, адаптированные к условиям пастбищной дигрессии; сформировались открытые участки с проявлением плоскостной эрозии, образовались промоины и овраги.	277–450

В пределах пахотных земель проявление эрозионных процессов наиболее отчётливо выражено в развитии пояса струйчатой эрозии. Для оценки динамики поверхностного склонового стока и эрозии были проведены исследования по идентификации пространственно-временной структуры ручейковой сети в пределах пашни в лесостепной и степной зонах востока Русской равнины. Для этого было проведено картографирование пояса струйчатой эрозии по материалам дешифрирования космических снимков с последующим использованием ГИС-технологии для их обработки. Участки для исследования подбирались по нескольким критериям: 1) для дешифрирования отбираются междуречные распаханное пространства с морфологически хорошо выраженной сетью промоин; 2) участки пашни, по которым проводится картографирование должны иметь одни и те же общие границы на разновременных снимках, чтобы исключить влияние на формирование сети фактора изменения земледельческой освоенности 3) время съёмки (сезон) за сравниваемые периоды должны быть примерно одинаковыми; 4) участки должны быть полностью распахананы, без какого-либо проективного покрытия поверхности почвы агроценозами; 5) качество снимков (отсутствие облачности и пр.) должно быть хорошим; 6) снимки на участки должны иметь высокое или среднее пространственное разрешение

(Ермолаев и др., 2017; Пространственно-временные закономерности..., 2019).

Установлено, что идентификация пояса струйчатой эрозии наиболее надежно осуществляется по поздневесенним, осенним и раннелетним снимкам. В другие сезоны дешифрирование линейных форм эрозии на полях идет с большими ошибками за счет их нивелирования посевами. Исходные для оценки динамики поясов эрозии ресурсы космических снимков, а также методика их обработки аналогичны методике определения динамики оврагов по снимкам (Медведева и др., 2017).

Промоины на снимках хорошо идентифицируются по характерному для них линейному рисунку изображения. В отличие от оврагов они изображаются в виде тонких, чаще всего, темных полос и линий по склонам. Промоины изображаются извилистыми линиями, часто имеющими в плане дендровидный рисунок с большой вариабельностью фототона (цвета) от почти белого до почти черного. Дешифрировались все визуально определяемые на снимке линейные формы за разные периоды времени (рис. б).

С помощью программы Easy Trace были выделены все формы струйчатой эрозии и границы пашни, определены все показатели, характеризующие сеть промоин (Табл.2)

С помощью программы Easy Trace были выделены все формы струйчатой эрозии и границы пашни, определены все показатели, характеризующие сеть промоин (Табл.2)



Рисунок 6. Структура сети промоин в поясе струйчатой эрозии по материалам дешифрирования космических снимков (с. Тоцкое, междуречье рек Самары и Сороки, Оренбургская область): а) 2010 г; б) 2013 г. (GoogleEarth)

Таблица 2

Основные показатели сети промоин на пашне по материалам дешифрирования космических снимков за два временных среза (с. Тоцкое, междуречье рек Самары и Сороки).

Показатели промоинной сети	Время съемки	
	25.09.2010 г.	03.05.2013 г.
Площадь пашни в поясе струйчатой эрозии (км ²)	6,36	6,36
Суммарная протяжённость (км)	64,18	94,78
Количество вершин	144	204
Густота промоин (км/км ²)	10,09	14,9
Плотность промоин	22,6	32,07

Площадные, линейно вытянутые контуры в вершинах струйчатых размывов на приводораздельных распахиваемых участках склонов, имеющие древовидный рисунок, не относились к промоинной сети, поскольку эти участки формируются сетью ручейковых размывов, пространственно сильно меняющих свое плановое заложение для каждого из событий поверхностного стока и при различной обработке почвы.

В качестве исходных данных на первом этапе работ для дешифрирования современной промоинной сети выбраны космические снимки, имеющие высокое пространственное разрешение (0,5 - 1.5 м), скачанные из программы Google Earth. В данном ресурсе в открытом доступе космические снимки такого высокого разрешения есть за небольшой период (2009-2016 гг.). Такой период недостаточен для оценки временного тренда развития струйчатой эрозии. Поэтому в дальнейшем для оценки динамики за большой временной промежуток были взяты снимки «Landsat» с разрешением 30 м за 1984 – 2017 гг. на территорию бассейнов рек Самары (Оренбургская область), Меши (Республика Татарстан) и Медведицы (Саратовская область).

Эти снимки имеют меньшее разрешение, но зато охватывают более чем 30-летний период времени, архив снимков находится в свободном доступе, а частота повторной съемки одного и того же участка позволяет подобрать наиболее подходящие снимки. В то же время, дешифрирование струйчатых размывов проводится на одну и ту же территорию по снимкам с одной съемочной системы, в один и тот же сезон только за разные годы. Поэтому прирост или сокращение выявленной сети промоин не связан с генерализацией изображения, а полученные характеристики этой сети позволяют делать выводы о пространственно-временных тенденциях ее развития. Выявленная на этих снимках сеть струйчатых размывов морфологически более хорошо выражена, а значит - прирост или сокращение показателей этой сети позволит объективно судить о направленности в изменении темпов эрозии на наблюдаемых участках. Сравнительная оценка отображения струйчатых размывов на снимках среднего разрешения «Landsat» и высокого – из ресурса Google Earth показало, что они сопоставимы по качеству.

С помощью ГИС MapInfo были трассированы и переведены в векторный формат формы линейной эрозии и границы пахотных земель. Далее подсчитывалась площадь участка пашни, суммарная длина промоин (км), количество вершин струйчатых размывов, их густота ($\text{км}/\text{км}^2$) и плотность ($\text{ед}/\text{км}^2$). Показатель плотности определялся как количество вершин промоин на квадратный километр площади пашни. На пашне дешифрировалась вся визуально определяемая система линейных струйчатых форм как древнего происхождения (ложбины стока, делли), так и современная (эрозионные борозды, промоины и пр.).

В ходе исследований по определению динамики пояса струйчатых размывов разработана система дешифровочных признаков (региональных эталонов) идентификации струйчатых размывов, и проведена полевая верификация результатов дешифрирования. Работы проведены на 60 распаханых междуречных ключевых участках в пределах развития пояса струйчатой эрозии за период с 1988 по 2017 гг. Площади участков дешифрирования различные и колеблются от 100 до 5000 га.

В бассейне реки Самары наблюдения проведены на 15 ключевых междуречных участках за следующие периоды: 19.04.1988 г., 18.04.2000 г. и 29.04.2015 г. Анализ данных показал, что в этот период времени произошло увеличение используемых для оценки количественных параметров промоинной сети практически на всех участках. Так, средняя плотность промоинной сети с 1988 по 2015 гг. увеличилась на 65 %, а густота на 50%. Основной прирост увеличения показателей плотности и густоты промоинной

сети наблюдается с 2000 – 2015 гг. (Рис.7-8). Средние показатели густоты и плотности с 1988 по 2000 гг. увеличились на 8,8% и 12,9% соответственно, и на 23% и 28,4 % за период с 2000 – 2015 гг.

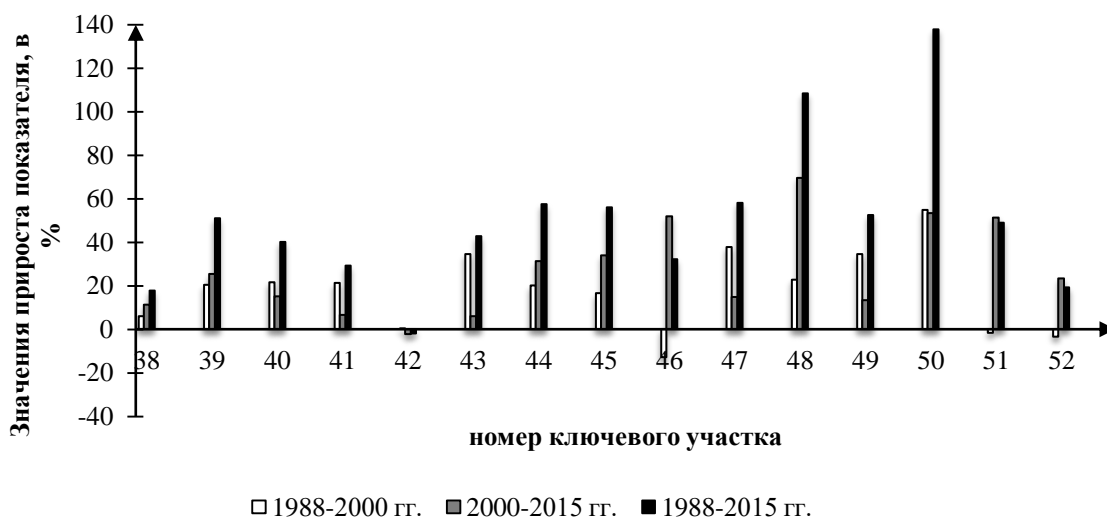


Рисунок 7. Динамика густоты промоинной сети (бассейн р. Самары, Оренбургская область) за периоды 1988 – 2000, 2000-2015 и в целом с 1988 по 2015 гг.

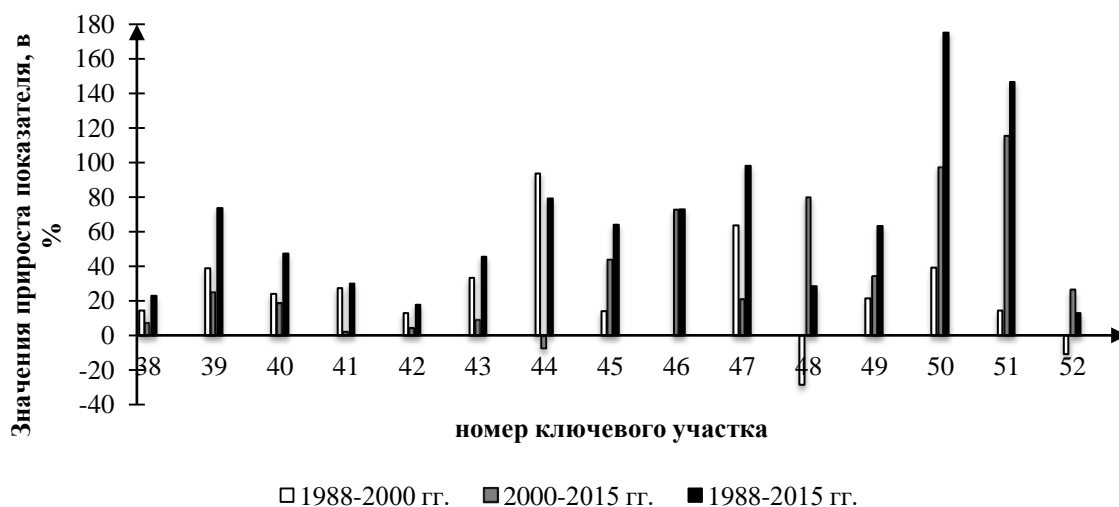


Рисунок 8. Динамика плотности промоинной сети (бассейн р. Самары, Оренбургская область) за периоды 1988 – 2000, 2000-2015 и в целом с 1988 по 2015 гг.

На исследованных участках склоны с поясом струйчатой эрозии имеют две преобладающие экспозиции: юго-восточную и северо-западную. Время съемки – апрель, т.е. период формирования талого стока. Показатели

густоты и плотности промоинной сети склонах юго-восточной экспозиции больше, чем на северо-западной. Это хорошо согласуется с концепцией формирования климатического типа асимметрии склонов (Климатическая геоморфология..., 1977).

Наложение планового рисунка промоинной сети разновременных снимков (Рис.9) позволяет определить, как меняется рисунок промоинной сети. В бассейне р. Самары на исследуемых участках ярко выраженная плотная промоинная сеть, линейные размывы располагаются на склонах густыми параллельными сериями, имеют линейный и дендровидный рисунок. Наложение рисунков позволило также выявить происходящие изменения в структуре промоинной сети. В частности, за период с 1988 по 2015 гг. наблюдается как продвижение струйчатых размывов в область пояса микроручейковой эрозии, так и усложнение их рисунка в вершинах промоин.

Таким образом, за период с 1988 по 2015 гг. в бассейне р. Самары отмечается рост всех количественных показателей струйчатой эрозии – суммарной длины, густоты и плотности промоин. Причём, больший прирост отмечен в период 2000-2015 гг. Дешифрирование проводилось по снимкам, сделанным в период талого стока. В целом, это не означает, что рост промоинной сети формировался именно в период талого стока.

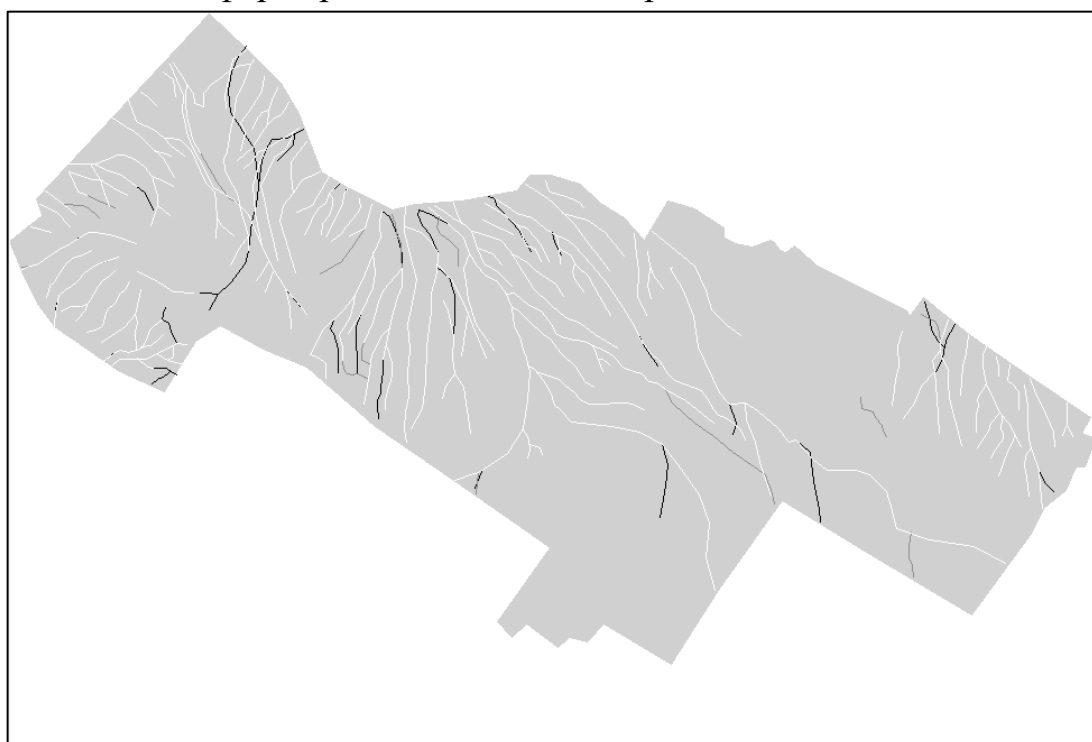


Рисунок 9. Динамика планового рисунка промоинной сети по разновременным космическим снимкам «Ландсат» (басс. р. Самары, участок №45). Легенда: Белыми линиями - промоинная сеть за 2015г., серыми – 2000г., черными – 1988г.).

Но следует учитывать, что часть промоин, хорошо идентифицируемых на снимках сразу после их образования после снеготаяния, могут полностью запахиваться. Именно этим объясняется, что на ряде участков происходит чередование периодов с сокращением и увеличением протяжённости и плотности промоинной сети. В то же время при формировании более мощных промоин, глубиной свыше 1 м, остаются хорошо выраженные в рельефе линейные понижения, которые спектрально хорошо проявляются на снимках за счет изменений влажности и цвета почв. Такие формы могут формироваться и в период ливневого смыва. Следует отметить, что и в бассейне р. Самары существует достаточно большая вариабельность между участками в части увеличения густоты и плотности промоинной сети. Это в целом отражает пространственную неравномерность развития эрозии на пахотных землях, связанную с многофакторностью процессов, определяющих формирование поверхностного стока и смыва на склонах.

Выявленные закономерности трансформации промоинной сети хорошо согласуются с тенденциями изменений гидроклиматических параметров в последние десятилетия в бассейне р. Самары и в целом в южном Предуралье. Так анализ повторяемости осадков тёплого времени года со слоем более 10 мм указывает на их существенный рост после 1990 годов (Рис.10).

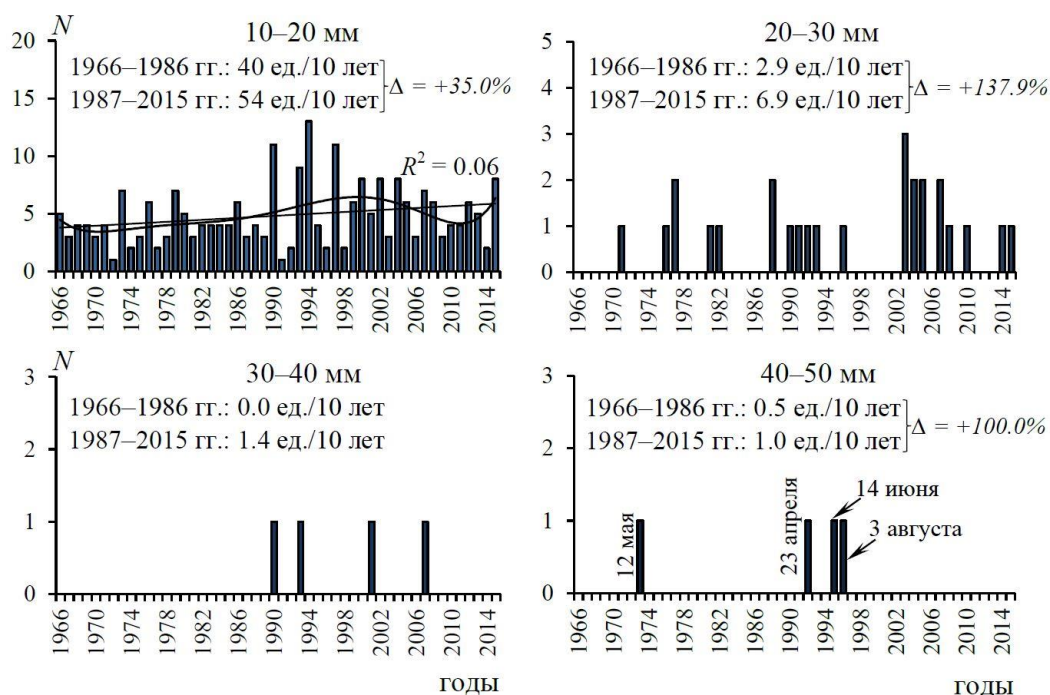


Рис. 10. Изменения количества дождевых событий (N , ед.) с разным суточным слоем осадков (10-20 мм, 20-30 мм, 30-40 мм, 40-50 мм) в теплый

период года (апрель–октябрь) по метеорологической станции в г. Сорочинск за 1966–2015 гг.

Причём наиболее заметно возросло число сильных ливней со слоем осадков 30-40 мм и 40-50 мм. Известно, что выпадение таких ливней отличается высокой пространственной неравномерностью, но одновременно в тех случаях, когда они выпадают на незащищённую или слабозащищённую посевами пашню, они приводят к катастрофическому смыву с образованием крупных промоин (Belyaev et al.,2008). Собственно, высокая неравномерность изменения густоты и протяжённости промоинной сети на пашне в бассейне р. Самары в период с 1988 по настоящее время и даёт основание утверждать, что именно ливневой смыв послужил причиной этих изменений. С другой стороны, продукты ливневого смыва в основном переоткладываются у подножия пахотных склонов или на небольшом удалении от них и практически не доставляются в постоянные водотоки, так как их мутность достигает десятков и сотен грамм на литр. Тем самым, рост ливневого смыва по существу не сказывается на увеличении расходов наносов в реках. Кроме того, начиная с 1991 года в южном Предуралье происходило сокращение площади пашни. Так, в бассейне р. Самары к 2015 г. её площадь сократилось на 14% по сравнению с 1985 г. (Иванов и др., 2017). Причём чаще забрасывались участки пашни, расположенные в нижних частях междуречных склонов, наиболее приближенные к гидрографической сети. Изменения минимального меженного стока рек региона, указывают на его рост в период после 1990 г. (Рис.11). Если общее увеличение меженного стока однозначно, обусловлено с сокращением поверхностного стока воды со склонов в период снеготаяния и пропорционального роста подземного стока, то его внутрисуточная изменчивость позволяет говорить о периодичности выпадении локальных ливней, способствующих некоторому росту ливневого стока.

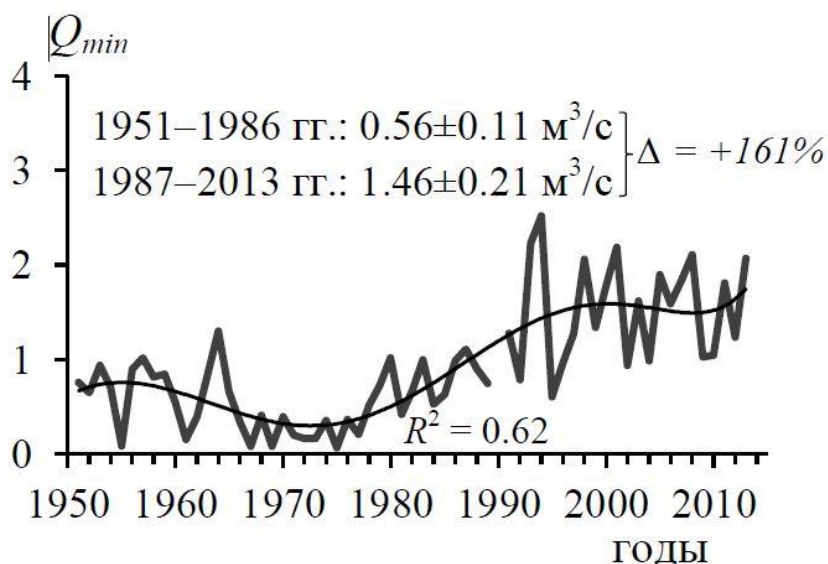


Рис. 11. Многолетняя изменчивость меженного расхода воды (m^3/c) р. Бузулук/Перевозниково.

Δ – относительное изменение показателей расходов между периодами

О значительном снижении талого стока и смыва в последние десятилетия свидетельствуют и результаты оценки темпов аккумуляции в днище сухой долины первого порядка, расположенной в бассейне р. Самары, которые в период 1986-2016 гг. сократились в 3.2–3.6 раза по сравнению с периодом 1959-1986 гг. (Гусаров и др., 2017).

Следует отметить, что результаты дешифрирования промоинной сети на участках, расположенных в находящихся к западу и северо-западу от Южного Предуралья бассейнах р. Медведицы (граница степной и лесостепной зон) и р. Меши (граница лесостепной и лесной зон), в целом не выявили её увеличения. В этих регионах также отмечено резкое сокращение талого стока и смыва, но при этом не отмечено и заметного роста повторяемости стокоформирующих ливней (Шарифуллин и др., 2018; Гусаров и др., 2017; Gusarov et al., 2019).

Наконец, динамика изменений заовраженности речных бассейнов, расположенных в 4 регионах южной половины ЕТР показывает, что только в бассейне р. Самары на фоне общего сокращения числа активных оврагов, произошло формирование достаточно большого числа новых (Табл.3) (Пространственно-временные..., 2019).

Таблица 3.

Обобщённые характеристики динамики активных оврагов за два временных среза для ряда речных бассейнов, расположенных в различных частях южной половины ЕТР

Бассейн реки, регион	Площадь участка, км ²	Активные овраги		L^* , м	V , м/год	N	P , ед/км ²	L_{cp} , м
		На 1988-1989гг.	Из них на 2016 г.					
Ведуга, Воронежская область	80	129	16	22	0,8	2	0,23	30,4
		На 1986 г.	Из них на 2014-2015 гг.					
Медведица, Саратовская область	80	92	4	22,26	0,4	7	0,14	29,9
		На 1986 г.	Из них на 2006-2007 гг.					
Самара, Оренбургская область	80	147	66	22,81	1,12	31	1,9	73,88
		На 1986 г.	Из них на 2014 г.					
Мёша, Республика Татарстан	40	70	6	23,46	0,84	7	0,33	22,13

* L - средний суммарный линейный прирост за исследуемый период; V - средняя скорость прироста за исследуемый период; N - количество новых активных оврагов; P - плотность овражной сети; L_{cp} - средняя длина новых оврагов.

Это также свидетельствует о том, что в Южном Предуралье в последние десятилетия более активно протекают эрозионные процессы на речных водосборах в отличие от ряда других регионов южной половины ЕТР, где их интенсивность существенно снизилась в период с начала 1990-х годов во многом в связи с сокращением талого стока со склонов (Барабанов и др., 2019).

В целом, подытоживая результаты исследований, отражающих активизацию развития эрозионных процессов в Южном Предуралье, как на пашне, так и на пастбищах, а также соответствующее изменение расходов взвешенных наносов в малых и средних реках региона можно подчеркнуть следующее.

Таким образом, период, начиная с 1991 года и по настоящее время, на Южном Урале характеризуется снижением поверхностного стока воды и смыва со склонов в период весеннего снеготаяния, обусловленный в основном потеплением климата, а также сокращением площади пахотных

земель и снижением нагрузок на пастбища. Это привело к уменьшению доли наносов бассейнового происхождения, поступающих в русла рек и общему сокращению расходов наносов в реках региона. Одновременно выявляется тренд некоторого усиления ливневого смыва, связанный с ростом повторяемости выпадения стокоформирующих ливней, подтверждаемый увеличением протяжённости промоинной сети на пашне и появлением новых оврагов. Тем самым, тенденция к увеличению площади смытых почв в регионе сохраняется, хотя ранее произошедшее сокращение площади пашни всё же привело к сокращению суммарных потерь почвы с сельскохозяйственных угодий.

Выявленные закономерности изменений темпов смыва со склонов и стока наносов на реках региона за последние 50-60 лет должны учитываться при разработке природоохранных мероприятий в регионе, включая: организационно-хозяйственные, агротехнические, агролесомелиоративные и гидротехнические.

Методические положения применения мероприятий в разрезе различных регионов страны рассмотрены в значительном количестве опубликованных работ (Беляев, 1976; Сурмач, 1976; Калиниченко, 1978).

Комплекс противоэрозионных работ на водосборе входит в число мероприятий, относящихся к бассейновому регулированию речного стока. А. М. Гареевым (1995) было проведено обоснование методов и способов осуществления водоохранных мероприятий в бассейнах малых рек в пределах изучаемой территории. Работа выполнялась по материалам полевых изысканий в соответствии с «Методическими указаниями..., 1989». Удельная стоимость (в ценах 1990г.) тех или иных видов мероприятий определена методом аналогии с учетом показателей капитальных затрат на функционирующих объектах, полученных по сметной документации проектов. Исходя из этого, удельная стоимость рекомендуемых к строительству противоэрозионных прудов принята в пределах 0,33 – 0,4 руб. на 1 м² водоема, устройства дамб обвалования и берегоукрепления – по 20,0 тыс.руб на 1 км длины, строительства, водоотводящих и водозадерживающих валов - 6,0 тыс.руб на 1 км; лесонасаждений и залужения – 220 и 150 руб. на 1 га соответственно.

Необходимость в капиталовложениях на противоэрозионные мероприятия в бассейнах рек колеблется в значительных пределах (Табл.4). Так, например, в бассейне р. Берсувань, по сравнению с бассейнами других рек, затраты на строительство гидротехнических сооружений заметно превышают стоимость работ по лесопосадкам и залужению, что обуславливает высокие показатели затрат в целом по бассейну этой реки.

В целом, на основании анализа интенсивности развития эрозионных процессов на речных водосборах, с одной стороны, и масштабов проведения противоэрозионных мероприятий, с другой, можно констатировать, что последние не соответствуют требуемым нормам. Обнаруживается влияние ведомственной разобщенности, несогласованности проводимых мероприятий и недостаточность выделения капитальных и эксплуатационных затрат. В результате, в условиях отсутствия сбалансированности во взаимоотношениях между масштабами хозяйственной деятельности и возобновляемостью, устойчивостью природных комплексов и природно-хозяйственных систем эрозионные процессы в отдельных районах и угодьях продолжают активно проявляться. «Эрозионное затишье», установившееся после развала бывшего СССР в различных регионах страны, не дает основания полагать, что это будет наблюдаться далее в многолетней перспективе. Как свидетельствуют процессы, связанные с активизацией сельскохозяйственной деятельности в отдельных районах Южного Предуралья, изменение мест дислокации и способов выпаса скота привело к тому, что эрозионные процессы стали развиваться там, где раньше они не проявлялись. В то же время, на пастбищных угодьях, ранее интенсивно использованных для выпаса скота, наблюдаются процессы восстановления растительного покрова.

В свою очередь трансформация водных потоков в системе «склон-русло» в бассейнах малых рек способствует изменению показателей выноса продуктов разрушения в русловую сеть. Там, где природные комплексы (растительные сообщества, почвенный покров) сильно деградированы, активизация эрозионных процессов обуславливает увеличение мутности речных вод и расходов взвешенных наносов. В низовьях рек, по мере уменьшения уклонов русел и снижения скоростей воды, происходит отложение вынесенных с эродированных площадей продуктов разрушения. Это является причиной заиления русел рек, способствует последующему формированию неблагоприятных ситуаций, соответственно, поводом для привлечения денежных затрат на устранение возникших последствий (расчистка русел рек, дноуглубительные работы в водоемах и др.).

Оптимизация природопользования в бассейнах малых рек должна проводиться с учетом закономерностей, проявляющихся на их водосборах, с

Таблица 4.

Река	Строительство прудов и водохранилищ		Устройство дамб обвалования		Берегоукрепление		Строительство водоотводящих и водозадерживающих валов		Лесонасаждения		Залужение		Суммарные затраты, тыс.руб	Приведенные затраты, руб/к м ²
	Пл., га	тыс. руб.	км	тыс. руб.	км	тыс. руб.	км	тыс. руб.	га	тыс. руб.	га	тыс. руб.		
	Объем, млн. м ³								га/км ²		га/к м ²			
Ашкадар	<u>687,0</u> 21,3	6307,0	5,3	<u>110</u> 0	7,8	157,0	5,93	35,6	<u>1156</u> 0,31	254,2	<u>970,0</u> 0,26	145,5	7009,3	1,85
Карламан	0	0	0	0	0	0	0,12	0,72	<u>52,5</u> 0,15	11,6	0	0	12,3	0,036
Берсуань	<u>81,0</u> 3,3	1110,0	0	0	0	0	0,6	5,6	<u>58,0</u> 0,27	12,8	<u>40,0</u> 0,19	6,0	1134,4	5,38
Уршак	<u>403,0</u> 11,0	4371,0	0,1	2,0	1,75	35,0	0,12	0,72	<u>615,5</u> 0,14	135,4	<u>170,0</u> 0,04	25,5	4569,6	1,08
Куваш	<u>99,0</u> 3,0	1140,0	0	0	0,8	16,0	0,5	3,0	<u>66,0</u> 0,07	14,5	-	-	1173,5	1,30
Евбаза	<u>30,0</u> 0,80	300,0	1,0	20,0	0	0	7,05	44,1	<u>67,0</u> 0,14	14,7	<u>1000</u> 2,16	150,0	528,8	12,0
База	<u>403</u> 11,6	4070,0	0,30	6,0	1,50	30,0	1,0	6,0	<u>232,6</u> 0,15	51,2	0	0	4163,2	2,62
Быстрый Таныш	<u>12151,0</u> 33,2	12741,0	2,7	54	1,1	22	1,0	6,0	<u>1575,0</u> 0,20	329,0	<u>385,0</u> 0,50	57,8	13210,0	1,71
Куганак	<u>165,0</u> 4,3	1731,0	0	0	0	0	3,1	61,1	125,5	27,6	43,5	6,6	1826,3	1,5

Мероприятия и объем работ, направленные на перспективное улучшение экологического состояния водосборов и повышению зарегулированности склонового и речного стока

учетом требований научно-методического обоснования и широкомасштабного проведения противоэрозионных мероприятий с использованием бассейнового подхода.

Литература

1. Барабанов А. Т., Долгов С. В., Коронкевич Н. И. Влияние современных изменений климата и сельскохозяйственной деятельности на весенний поверхностный склоновый сток в лесостепных и степных районах Русской равнины // Водные ресурсы. — 2018. — Т. 45, № 4. — С. 332–340.
2. Беляев В.А. Борьба с водной эрозией почв в нечерноземной зоне. М. Россельхозиздат, 1976. 158 с.
3. Гареев А. М. Некоторые характеристики изменения склонового и речного стока в условиях деградации природных комплексов на водосборе//Водное хозяйство России. Спецвыпуск, 2003. С. 115-121.
4. Гареев А. М. Оптимизация водоохраных мероприятий в бассейне реки (географо-экологический аспект). С.-Пб. Гидрометеиздат, 1995. 190 с.
5. Гареев А. М. Склоновый сток и эрозионные процессы на водосборе (на примере территории Республики Башкортостан)// Земельная реформа и эффективность использования земли в аграрной сфере экономики. Уфа. Мир печати, 2014.
6. Гареев А.М., Зайцев П.Н. Многолетняя динамика изменчивости водных ресурсов в пределах Башкирского Предуралья. Уфа. РИЦ БашГУ, 2015.
7. Гареев А.М., Хабибуллин И.Л. Естественные и антропогенные факторы активизации развития эрозионных процессов. Уфа. РИЦ БашГУ, 2010. 122 с.
8. Географический атлас Оренбургской области. М.: ДИК, 1999. 96 с.
9. Геология СССР. Т. XIII. Башкирская АССР и Оренбургская область. Геологическое строение. М. Недра, 1964. 655 с.
10. Голосов В.Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М.: ГЕОС, 2006. 296 с
11. Голосов В. Н. Влияние эрозионно-аккумулятивных процессов на изменение степных агроландшафтов за земледельческий период // География и природные ресурсы. — 1996. — № 4. — С. 24–29.
12. Голосов В. Н., Иванова Н. Н. Особенности заиления малых рек зоны интенсивного сельскохозяйственного освоения // Водные ресурсы. — 1993. — № 6. — С. 684–688.
13. Гусаров А.В., Голосов В. Н. , Шарифуллин А.Г., Гафуров А.М. Современный тренд эрозии пахотных чернозёмов южных на западе Оренбургской области // Почвоведение. 2018. Т. 51, № 5.— С. 601–615

14. Дедков А.П, Мозжерин В.И. Эрозия и сток наносов на Земле. Казань, Изд-во Казанск. Ун-та, 1984, 261 с.
15. Ермолаев О.П., Медведева Р.А., Платончева Е.В. Методические подходы к мониторингу процессов эрозии на сельскохозяйственных землях европейской части России с помощью материалов космических съемок // Ученые записки Казанского университета. Серия естественные науки. 2017. - Т.159, Вып. 4. С.668-680.
16. Иванов М.А., Прищепов А.В., Голосов В.Н., Залялиев Р.Р., Ефимов К.В., Кондратьева А.А., Киняшова А.Д., Ионова Ю.К. Изменения площади пахотных угодий в бассейнах рек Европейской территории России за период 1985–2015 гг. как фактор динамики эрозии почв // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 149-157.
17. Калиниченко А.П. Организация и технология работ по защите почв от водной эрозии. М. Высшая школа. 1978. 230 с.
18. Климатическая геоморфология денудационных равнин /под ред. А.П. Дедкова. Казань: Изд-во Казан. Ун-та, 1977. С.224.
19. Ларионов Г.А. Эрозия и дефляция почв. М.: МГУ, 1993. 200 с.
20. Литвин Л.Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России. М.: Академкнига, 2002. 256 с.
21. Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 346 с.
22. Медведева Р.А., Голосов В.Н., Ермолаев О.П. Пространственно-временная оценка овражной эрозии в зоне интенсивного земледелия Европейской части России // География и природные ресурсы, 2018, №3, с.29-37.
23. Методические указания по проектированию противоэрозионной организации территории при внутрихозяйственном землеустройстве в зонах проявления водной эрозии. М. Изд-во Гидр, 1989. 79 с.
24. Пространственно-временные закономерности развития современных процессов природно-антропогенной эрозии на Русской равнине. Казань: Изд-во АН РТ, 2019. 372 с.
25. Сафина Г. Р., Голосов В. Н. Влияние изменений климата на внутригодовое распределение стока малых рек южной половины Европейской территории России // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2018. Т. 160, № 1. С. 111–125.
26. Сурмач Г.П. Водная эрозия и борьба с ней. Л. Гидрометеоздат, 1976. 254 с.

27. Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Агафонова С.А., Евстигнеев В.М., Ефремова Н.А., Повалишников Е.С. Внутригодовое распределение стока равнинных рек Европейской территории и его изменение // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 4. С. 4–20.
28. Хазиев Ф.Х., Кольцова Г.К. и др. Почвы Башкортостана. Т.2. Уфа: Гилем, 1997. 328 с.
29. Чалов Р. С. Русловедение: теория, география, практика. Том 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, форма проявления и условия формирования речных русел. Изд 2-ое. М.; Изд. группа URSS Москва, 2018. 608 с.
30. Шарифуллин А. Г., Гусаров А. В., Голосов В. Н. Современный тренд эрозионно-аккумулятивных процессов в малом распаханном водосборе, Республика Татарстан // Геоморфология. 2018. № 3. С. 93–10
31. Belyaev V.R., Golosov V.N., Kislenko K.S., Kuznetsova J.S., Markelov M.V. Combining direct observations, modelling, and ¹³⁷Cs tracer for evaluating individual event contribution to long-term sediment budgets. In: Sediment Dynamics in Changing Environments, серия IAHS Publ, место издания IAHS Press Wallingford, UK, vol. 325, P. 114-122
32. Dedkov, A.P., 2004. The relationship between sediment yield and drainage basin area. In: Golosov, V., Belyaev, V., Walling, D.E. (Eds.), Sediment Transfer through the Fluvial System. IAHS Publication, vol. 288, P. 197 – 204.
33. Gusarov A.V., Golosov V.N., M.M. Ivanov, Sharifullin A.G. Influence of relief characteristics and landscape connectivity on sediment redistribution in small agricultural catchments in the forest-steppe landscape zone of the Russian plain within European Russia // Geomorphology. 2019. Vol. 327. P. 230–247.
34. Mukharamova S.S., Yermolaev O.P., Vedeneeva E.A. Modern Approaches to Mathematical Modeling of River Runoff in the Territory of the European Part of Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018, vol.107, Is.1, Art. № 012017. DOI: 10.1088/1755-1315/107/1/012017.
35. Yermolaev O.P., Mukharamova S.S., Maltsev K.A., Ivanov M.A., Ermolaeva P.O., Gayazov A.I., Mozzherin V.V., Kharchenko S.V., Marinina O.A., Lisetskii F.N. Geographic Information System and Geoportal River basins of the European Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018, V.107, Is.1, Art. № 012108. DOI: 10.1088/1755-1315/107/1/012108