

УДК 551.4.042

© 2018 г. А.Г. ШАРИФУЛЛИН^{1,*}, А.В. ГУСАРОВ^{1,**}, В.Н. ГОЛОСОВ^{1,2,***}**СОВРЕМЕННЫЙ ТРЕНД ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ
В МАЛОМ РАСПАХАННОМ ВОДОСБОРЕ, РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН**¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
географический факультет Москва, Россия

*E-mail: AGSharifullin@kpfu.ru, **E-mail: avgusarov@mail.ru,

***E-mail: gollossov@gmail.com

Поступила в редакцию 10.01.2017

Анализ аккумуляции наносов в днищах долин первого порядка позволяет дать достаточно надежную количественную оценку общей интенсивности и временной изменчивости эрозионных процессов на сельскохозяйственных землях, подходящих практически вплотную к этим долинам. С использованием радиоактивного цезия-137 в качестве хрономаркера, а также усовершенствованных эрозионных моделей USLE и Государственного гидрологического института, изучение аккумулярованных наносов в днище малой долины “Темева речка” (площадь водосбора – 1.13 км²), расположенной в северо-западной части Республики Татарстан (бассейн р. Мёша), показало заметное снижение темпов смыва почв с пахотной части водосбора за последние десятилетия. Так, если за период 1963–1986 гг. темпы аккумуляции в днище малой долины смытого со склонов водосбора почвенного материала составляли 0.92–1.81 см/год, то за период 1987–2015 гг. – 0.17–0.50 см/год, т.е. сократились как минимум в 3–5 раз. Причиной отмеченного уменьшения темпов смыва почв и аккумуляции наносов явилось сокращение объемов поверхностного стока со склонов в период снеготаяния, вызванное повышением температуры воздуха в весеннее время года, уменьшением глубины промерзания почв и снижением частоты выпадения экстремальных ливней со слоем 40–50 мм. Влияние хозяйственной деятельности на уменьшение темпов эрозионно-аккумулятивных процессов было, по всей видимости, несущественным, хотя некоторое изменение севооборотов с увеличением доли многолетних трав, очевидно, повлияло на снижение темпов смыва в теплое время года. Данная эрозионная тенденция и климатические причины, ее обусловившие, имели региональный характер и ранее выявлены в ряде регионов южной половины Европейской территории России.

Ключевые слова: эрозия, наносы, цезий-137, балка, водосбор, изменения климата, промерзание почвы, талый сток, пашня, лесостепь, Русская равнина.

DOI: 10.7868/S0435428118030082

**ASSESSMENT OF CONTEMPORARY EROSION/SEDIMENTATION TREND WITHIN
A SMALL CULTIVATED CATCHMENT IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN
(EUROPEAN RUSSIA)**A.G. SHARIFULLIN^{1,*}, A.V. GUSAROV^{1,**}, V.N. GOLOSOV^{1,2,***}¹ Kazan Federal University, Kazan, Russia² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

*E-mail: AGSharifullin@kpfu.ru, **E-mail: avgusarov@mail.ru,

***E-mail: gollossov@gmail.com

Summary

An analysis of sedimentation at first-order-valley bottoms allows the gathering of a sufficiently reliable quantitative evaluation of soil losses from a catchment area for two time intervals (1963–1986 and 1987–2015) and its temporal variability. The catchment studied (Temeva Rechka, 1.13 km²) is located in the River Myósha basin, the northwestern part of the Republic of Tatarstan, Russia. Combination of methods and approaches was used for estimation of sediment redistribution for the both time intervals, including detail geodetic survey of main morphological units of the catchment dry valley, large scale geomorphological mapping, caesium-137 technique for sediment dating in typical locations of the valley bottom, calculation of soil losses using modified version of USLE and State Hydrological Institute (Russia) models. In addition, available information about dynamics of some climate characteristics for the period 1950–2015 was collected from regional weather stations. LandSat images were applied for evaluation of possible land use changes. Crop management coefficients were calculated separately for the rainfall and snow-melt periods using available data about crop-rotation dynamics for the last 55 years. A significant decrease of average annual soil losses from the cultivated part of the Temeva Rechka catchment was found for the period 1987–2015 compared to the period 1963–1986. Such conclusion was mainly based on different sedimentation rates in the valley bottom: for the period of 1963–1986 the average sedimentation rates were 0.92–1.81 cm per year, while for the period of 1987–2015 these rates were only 0.17–0.50 cm per year. The main reason for this significant decrease was the reduction of surface runoff caused by climate warming in the region. The warming led to a reduction of soils freezing depth before the snow-melt period, and to a decline in frequency of extreme (rainstorm) precipitation (40–50 mm per a rainstorm). The influence of agricultural activity on the erosion and sedimentation rates changeability was insignificant, although some regional variation of crop rotation including a increase in proportion of perennial grasses obviously caused a decline in soil losses during warm period of year. The same trend of erosion/sedimentation rates due to mostly climate changes was identified in some regions of the European Russia's southern half.

Keywords: erosion, sediment, caesium-137, dry valley, catchment, climate change, soil freezing, snow-melt runoff, cultivated, land, forest-steppe, Russian Plain.

Введение

Анализ аккумуляции наносов в эрозионно-стабильных участках днищ малых долин (балки, ложины, лога, ложбины и пр.) позволяет дать достаточно надежную количественную оценку общей интенсивности и временной изменчивости эрозионных процессов на водосборах, поскольку темпы аккумуляции наносов, вынесенных с их эрозионно-активных площадей, находятся в тесной связи с динамикой смыва и размыва почв на вышележащих склонах. Эти долины являются своеобразным буфером, перехватывающим и задерживающим существенную часть наносов, смываемых с водосборных склонов, препятствуя их поступлению в речную сеть. Применение данного анализа особенно эффективно в малых водосборах с высокой степенью их хозяйственного (прежде всего агрикультурного) использования. Совместно с морфолого-морфометрическим анализом самих водосборов возникает возможность выявить наиболее эродируемые участки склонов, являющиеся основными источниками коррелятных отложений в днищах малых долин. Последнее обстоятельство определяет важное прикладное направление подобных исследований – разработку эффективных противоэрозионных мероприятий на обрабатываемых землях и рекомендаций по оптимизации природопользования в границах малых водосборов.

В настоящее время одним из наиболее широко применяемых методов оценки темпов накопления сносимых со склонов почвенно-грунтовых масс в различных регионах Земли является использование в качестве хронологического маркера искусственного изотопа цезия-137 (¹³⁷Cs) [1–7], который появился в окружающей среде с началом проведения ядерных взрывов в открытой атмосфере (с 1954 г.). Различают ¹³⁷Cs глобального происхождения, выпавший на планете в период проведения ядерных испытаний с пиком максимального выпадения в 1963 г., и ¹³⁷Cs чернобыльского происхождения, который связан с аварией на Чернобыльской АЭС 1986 г. Ареал выпадения последнего – преимущественно Восточная и Центральная Европа, а также Скандинавия [8–9]. Наличие двух основных маркирующих ¹³⁷Cs-горизонтов в наносах предоставляет возможность датировать их, как минимум, по двум периодам – 1963–1986 гг. и с 1987 г. и до момента отбора проб, и, следовательно, дифференцировать их по темпам накопления, оценить общую тенденцию развития эрозионно-аккумулятивных процессов в том или ином водосборе.

В работе излагаются результаты такой оценки на примере одного из малых водосборов Республики Татарстан, которая входит в ряд наиболее освоенных в сельскохозяйственном отношении регионов Европейской территории России (ЕТР), где почвенный покров подвержен слабой и умеренной эрозии.

Объект исследования

Водосбор балки “Темева речка” расположен в бассейне р. Мёша (правый приток р. Кама, $F = 4180 \text{ км}^2$), в 39 км к юго-востоку от центра г. Казань (рис. 1). По ряду своих морфометрических характеристик водосбор является репрезентативным (площадь, средняя высота) для всего бассейна реки, почти репрезентативным (амплитуда высот) или нерепрезентативным (средний уклон водосбора). Длина балки “Темева речка” (на анализируемом участке), являющейся частью более крупной балочной сети, составляет 1635 м (с ложиной в верховье – 2087 м), площадь водосбора – около 1.13 км^2 , площадь собственно самой балочной формы – 0.19 км^2 , площадь днища главной балки – 0.031 км^2 , средние уклоны днища – 0.03. Средняя высота водосбора – 161 м (по данным топографической карты м-ба 1 : 10 000), амплитуда высот рельефа в границах водосбора – 74 м.

Склоны балочного водосбора практически полностью распахананы, в то время как склоны и днище самой балки залужены и используются для выпаса скота (рис. 1). По днищу также отмечаются многочисленные небольшие по глубине (0.2–0.3 м) и протяженности (<1–2 м) эрозионные врезы (рис. 2). Исключением является лишь расположенный в нижней части днища балки крупный донно-овражный врез, который активно развивался в последние 30 лет (в среднем 6 м/год). В последние годы скорость его прироста резко сократилась. Большая часть наносов поступает в днище балки по сети распаханых ложбин, которые подходят к ее вершине и бортам. Между краем поля и балочной бровкой (правый борт) имеется хорошо выраженная напашь, которая задерживает часть наносов (рис. 2).

В исследуемом районе Республики Татарстан,

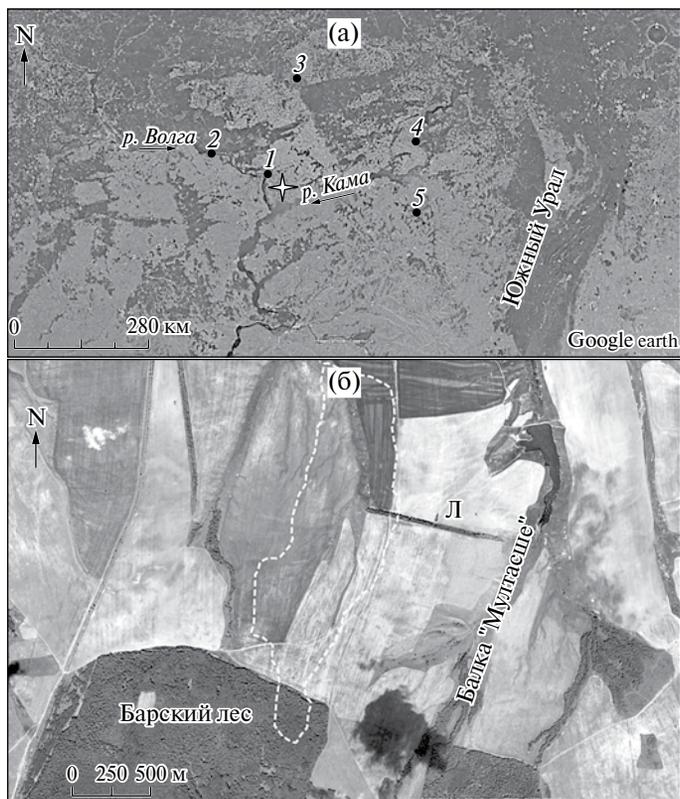


Рис. 1. Географическое положение балки “Темева речка”, Республика Татарстан (а – положение балки в Среднем Поволжье показано четырехконечной звездочкой) и ее ближайшие окрестности (б – положение исследованного участка балки показано пунктирной белой линией) *Анализируемые метеостанции:* 1 – г. Казань (Республика Татарстан), 2 – г. Чебоксары (Чувашская Республика), 3 – г. Нолинск (Кировская область), 4 – г. Сарапул (Удмуртская Республика), 5 – с. Бакалы (Республика Башкортостан); Л – лесопосадка

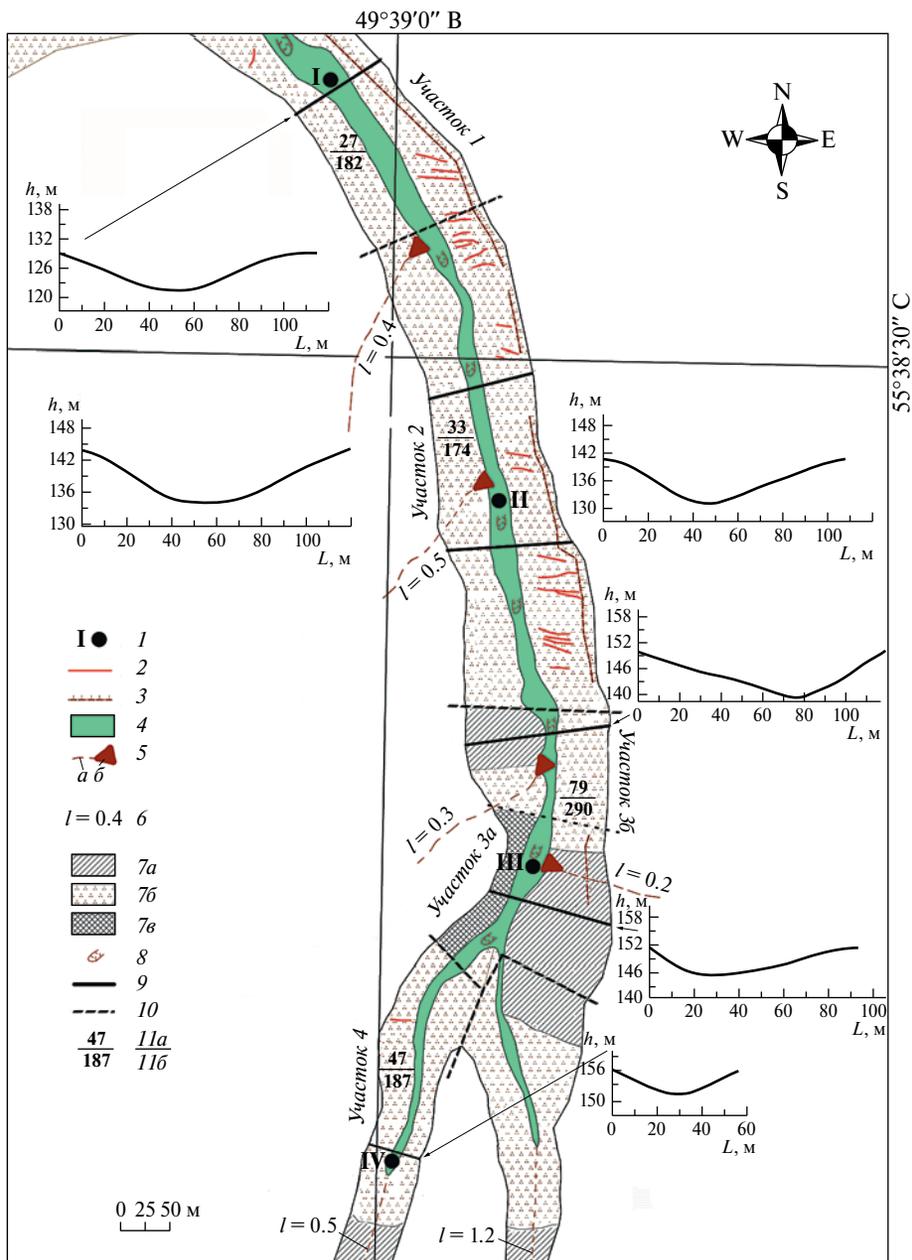


Рис. 2. Морфодинамическая карта исследованного участка балки “Темева речка”, Пестреченский район Республики Татарстан

1 – почвенные разрезы и их номера; 2 – эрозионные борозды; 3 – напашь; 4 – днище балки; 5 – ложбина (а – тальвег, б – конус выноса), б – длина тальвега ложбин, км; 7 – распределение склонов балки по крутизне (а – относительно пологие склоны (4–8°), б – склоны средней крутизны (8–15°), в – крутые склоны (более 15°); 8 – вторичный эрозионный врез; 9 – линия поперечного профиля; 10 – границы выделенных участков балки; 11 – темпы аккумуляции наносов в днище балки (т/га × год) (а – за 1987–2015 гг., б – 1963–1986 гг.); на поперечных профилях: L – горизонтальное проложение, h – абс. высота

в том числе на водосборе “Темева речка”, ниже по течению от исследуемого участка, в 1980-е годы был проведен комплекс противоэрозионных мероприятий, включая создание водозадерживающих валов и прудов (в 1989 г. в балке был создан пруд), перехватывающих часть стока воды и большую часть наносов. В настоящее время некоторые из этих валов уже прорваны овражной эрозией.

Физико-географические условия на водосборе

Рельеф и геологическое строение. Исследуемая территория представляет собой волнистую равнину, расчлененную достаточно густой долинной и овражно-балочной (рис. 1) сетью. Густота овражной сети в бассейне р. Мёша достигает 1.0 км/км². Водосбор располагается в пределах невысокой возвышенности Западного Предкамья Республики Татарстан, структурным ядром которой выступает Северо-Татарский свод. Коренными отложениями, слагающими с поверхности верхнюю часть водосбора “Темева речка”, являются терригенные осадки татарского яруса верхней перми, представленные отложениями уржумской серии (континентальные красноцветные песчаники, алевролиты, глины, мергели, известняки и доломиты) [10]. Рельеф водосбора – фрагмент денудационной (средней) поверхности эоплейстоценового возраста (наиболее высокие части междуречий), переходящей ниже в делювиально-солифлюкционную пологую (до 5°) поверхность склонов среднеплейстоценового возраста [11].

Климат региона – умеренно-континентальный. По данным ближайшей метеостанции (г. Казань (опорная)), средняя годовая (за 1950–2015 гг.) температура атмосферного воздуха составила $+4.1 \pm 0.3$ °С с тенденцией ее повышения за последние 65 лет (табл. 1). Среднее годовое количество осадков (за 1966–2015 гг.) – около 553.1 ± 26.9 мм, причем за теплое время (апрель–октябрь) выпадало 362.7 ± 22.3 мм (65.6%), а за холодное (ноябрь–март) – 190.4 ± 15.3 мм (34.4%). Максимум осадков приходится на июль (61–66 мм), минимум – на март (24–28 мм). За последние 65 лет также отмечается общий рост количества осадков в холодный период года и менее выраженное сокращение их за теплый период (табл. 2). Устойчивый снежный покров образуется в конце ноября, но бывает годы, когда снег окончательно ложится и в декабре [12]. Средняя дата начала интенсивного снеготаяния приходится, если судить по средней многолетней дате начала половодья в этой части бассейна р. Мёша, на 3 апреля.

Ландшафты. Почвенный покров водораздельных поверхностей в их верхней части представлен светло-серыми (а также серыми) лесными почвами глинистого и тяжелосуглинистого гранулометрического состава, почвообразующими породами для которых выступают делювиально-солифлюкционные отложения. Среднее содержание гумуса в почвах – 3–4%. Степень подверженности эрозии почв – слабая и умеренная [13–15].

Таблица 1

Изменения температуры атмосферного воздуха по метеостанции г. Казань (опорная) за 1950–2015 гг.

Периоды, годы		Среднемноголетняя температура воздуха, °С	C_v
Год в целом	1950–1986	$3.4 \pm 0.3^*$	0.29
	1987–2015	4.8 ± 0.6	0.33
Холодный период	1950–1986	-9.0 ± 0.5	0.19
	1987–2015	-7.1 ± 0.6	0.23
Теплый период	1950–1986	12.2 ± 0.3	0.08
	1987–2015	13.3 ± 0.4	0.08

Примечание. * – доверительные интервалы здесь и далее установлены при 95%-ом уровне надежности; C_v – коэффициент межгодовой вариации температуры.

**Изменения количества атмосферных осадков по метеостанции г. Казань (опорная)
за 1966–2014 гг.**

Периоды, годы		Среднегодовое количество осадков, мм	C_v
Теплый период	1966–1986	375.8±38.1*	0.23
	1987–2014	357.7±27.3	0.21
Холодный период	1966–1986	162.9±16.3	0.22
	1987–2014	208.5±20.7	0.27

Примечание. C_v – коэффициент межгодовой вариации атмосферных осадков.

Водосбор располагается в северной части лесостепной зоны умеренного климатического пояса. Коренные растительные формации междуречных пространств представлены здесь липовыми (с примесью дуба, клена, вяза) злаково-разнотравными лесами (6% от общей площади водосбора, включая противозероэрозийную посадку), чередующимися с разнотравными лугами, в настоящее время сильно измененными человеком, что выражается в высокой современной распаханности (77% от общей площади водосбора) (рис. 1) [13].

Материал и методы исследования

В ходе полевых работ лета 2015 г. проведена тахеометрическая съемка балки электронным цифровым тахеометром, по результатам которой, в сочетании с анализом теплов аккумуляции наносов в днище за разные периоды, была составлена ее морфодинамическая карта (рис. 2). Детальному обследованию подвергнута часть днища балки, расположенная непосредственно выше по течению от вершины донного оврага, прорезающего нижнюю часть днища. Выбраны места заложения четырех разрезов, каждый из которых характеризует различные по степени транзитности участки, различающиеся по морфологии и морфометрии (ширина и уклоны днища, уклоны и асимметрия склонов балки) (рис. 2). Выполнено детальное описание почвенных разрезов с выделением аккумулятивных горизонтов, различающихся по окраске, структуре и гранулометрическому составу. В разрезах по вертикали послойно отбирались образцы для определения в них концентрации изотопа ^{137}Cs по следующей схеме: до глубины 0.25–0.30 м – через 2 см, для глубин 0.25(0.30)–0.50(0.60) м – через 3 см, для глубин более 0.50(0.60) м – через 5 см. До глубины 0.50 м образцы отбирались с фиксированной площади 225 (15 × 15) см², на глубинах более 0.50 м – с площади 100 (10 × 10) см².

Определение удельной радиоактивности ^{137}Cs в почвенных образцах проводилось в лабораторных условиях: образцы высушивались до абсолютно сухого состояния при температуре 105 °С, размалывались и просеивались через сито с диаметром отверстий 1 мм. В подготовленных для анализа пробах содержание ^{137}Cs измерялось на коаксиальном германиевом гамма-спектрометре на базе НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева (МГУ) (ответственный исполнитель – М.М. Иванов). По результатам проведения аналитических работ построены эпюры вертикального распределения изотопа ^{137}Cs , определены объемы наносов, отложившихся в днище за два надежно выделяемых по пикам концентрации изотопа ^{137}Cs интервала времени – 1963–1986 гг. и 1987–2015 гг. (рис. 3). Расчет объемов суммарного накопленного материала осуществлялся путем вычисления площадей фигур (трапеций) на участках, где были построены поперечные профили и определены расстояния между ними. Основаниями трапеций служили ширина современного (верхнее основание для слоя 1986–2015 гг.) и погребенных (на глубинах максимального содержания цезия 1986 г. и 1963 г.) днищ, выделение

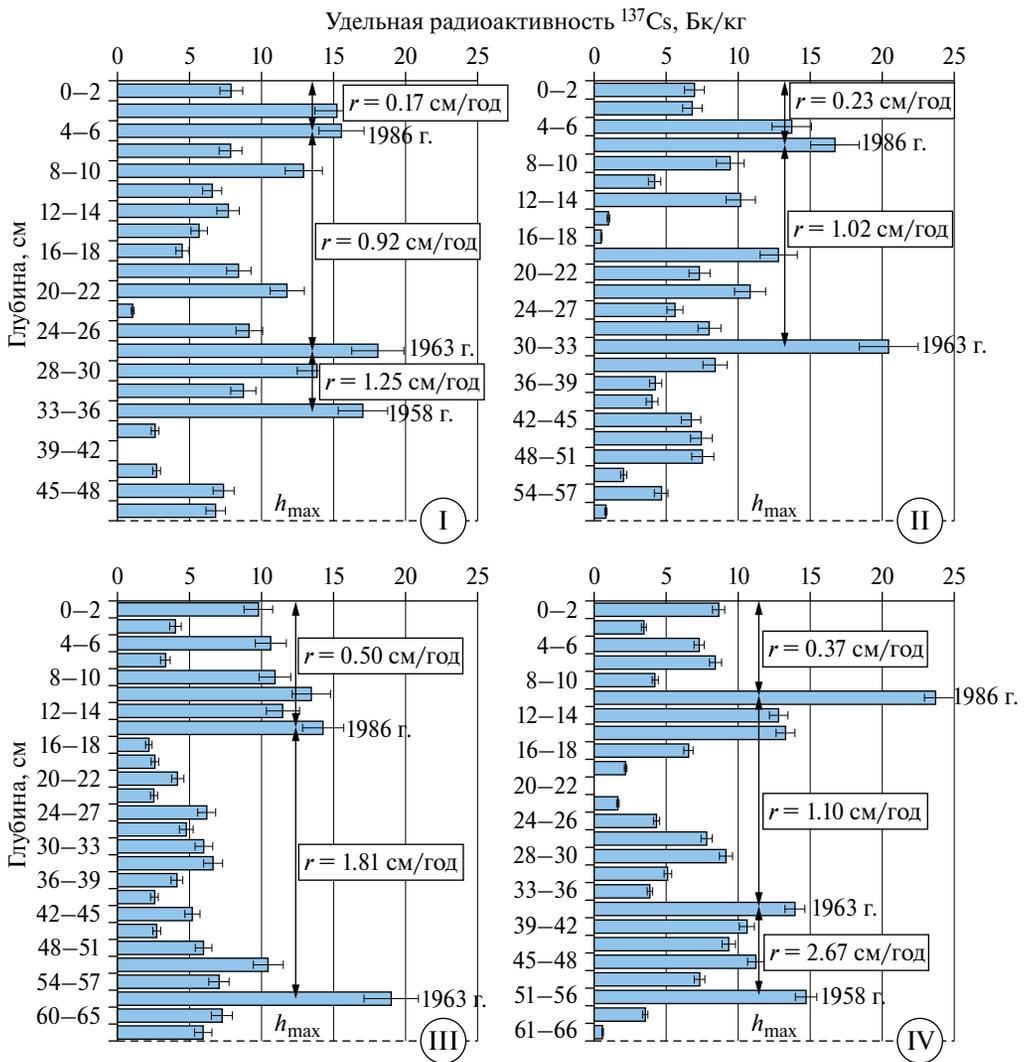


Рис. 3. Распределение удельной радиоактивности изотопа ^{137}Cs по глубине в почвенных (стратоземы) разрезах дна балки “Темева речка”, Республика Татарстан (I–IV – почвенные разрезы (см. рис. 2)) r – средние темпы аккумуляции наносов за соответствующий период, h_{\max} – максимальная глубина отбора образцов на содержание ^{137}Cs ; 1958 г., 1963 г. и 1986 г. – предполагаемые положения поверхности дна балки на момент пиковых выпадений изотопа ^{137}Cs глобального (1958 и 1963 гг.) и чернобыльского (1986 г.) происхождения

которых корректировалось по уклонам бортов долины на данном поперечном профиле. Расстояние между фигурами (поперечными сечениями) определялось по продольному профилю дна балки. Полученные объемы пересчитывались в весовые величины путем перемножения их на среднюю плотность почвенных образцов, установленную в лабораторных условиях.

Интенсивность эрозионных процессов на водосборе балки оценена с помощью эрозионной модели USLE (для ливневого стока) и модели, разработанной Государственным гидрологическим институтом (ГГИ) (для талого стока), модифицированных Г.А. Ларионовым и А.Ф. Красновым [16]. При расчетах темпов смыва с пахотных угодий в период ливневого стока эрозионный индекс осадков принимался неизменным за два периода,

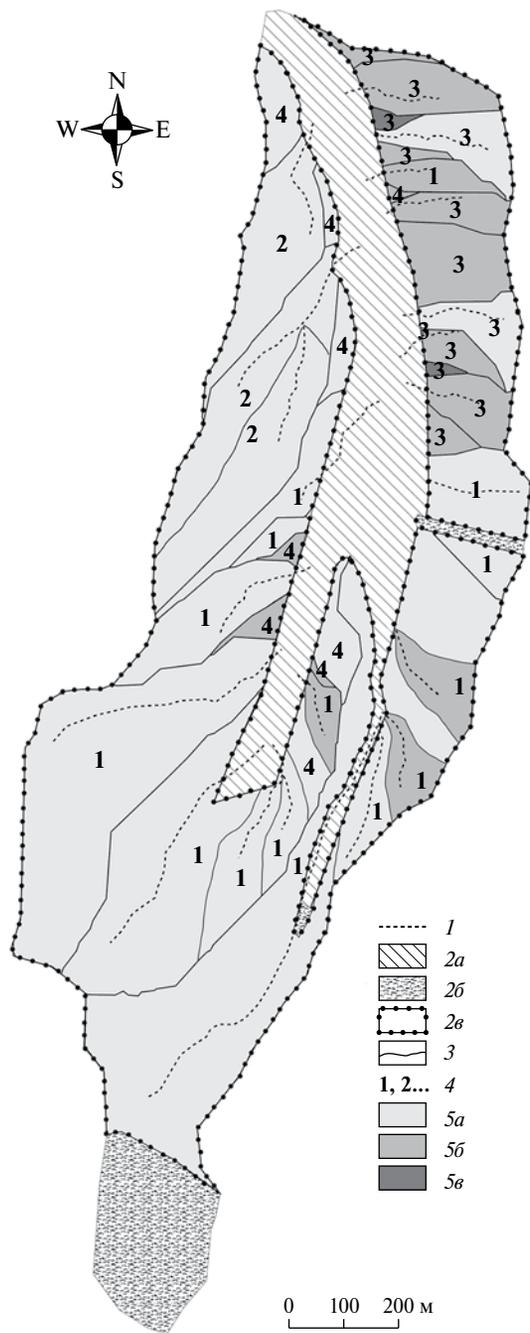


Рис. 4. Карта типов склонов и склоновых водосборов расширяемой части водосбора балки "Темева речка", Республика Татарстан
 1 – тальвеги ложбин; *виды землепользования*: 2а – луга под выпас, 2б – залесенные участки (коренной лес и лесопосадка), 2в – пашня; 3 – граница типов склонов и склоновых водосборов; 4 – типы склонов и склоновых водосборов вне балочной части водосбора (1 – водосборы с прямым и выпуклым профилем ложбины (концентрированный сток), 2 – водосборы с вогнутым профилем ложбины (концентрированный сток), 3 – водосборы с аккумуляцией наносов на краю пашни, выделенные по наличию напаша (концентрированный и рассеянный стоки), 4 – водосборы с рассеянным стоком); 5 – уклоны поверхностей склонов (а – 2–4°, б – 4–6°, в – 6–8°)

поскольку отсутствуют точные данные об интенсивности осадков за период после 1986 г. Кроме того, в расчетах за два периода учитывалось и два разных севооборота: при расчете ливневого смыва почвозащитный коэффициент растительности для периода 1963–1986 гг. составил 0.36, а для периода 1987–2015 гг. – 0.30.

По топографической карте м-ба 1 : 10 000 были построены продольные профили ложбин, открывающихся в балку, и склонов ее водосбора. В итоге, на исследуемой территории были выделены четыре типа склонов и склоновых водосборов (рис. 4), различающиеся по морфологии профиля тальвега ложбин и склонов, уклонам, наличию напаша, что позволило подразделить их на типы по коэффициенту доставки наносов с пашни в балочное днище [17]. Два первых типа склоновых водосборов характеризуются концентрированным стоком, однако отличаются продольным профилем ложбин (первый тип – прямой и выпуклый профиль, второй – вогнутый). Выделение третьего типа осуществлялось по наличию старой напаша на нераспахиваемом борту балки, которая задерживает

большую часть выносимого за пределы пашни материала. При этом поверхностный сток воды может быть как концентрированным, так и рассеянным. Четвертый тип характеризуется рассеянным стоком, малыми уклонами и положением в нижней части склонов водосбора (рис. 4). Для каждого типа водосборных поверхностей были определены по эрозионным моделям среднегодовые темпы смыва почвы, рассчитана потенциальная доставка наносов с пашни к днищу балки с учетом коэффициентов

их доставки, ранее предложенных в работе [17]. Составлено попериодное уравнение баланса наносов для исследуемого водосбора.

Дополнительно проанализированы материалы наблюдений (за 1950–2015 гг.) по нескольким близлежащим метеорологическим станциям, расположенным в городах Казань, Нолинск, Сарапул, Чебоксары и с. Бакалы (рис. 1), с целью выявления регионального характера изменения ряда климатических показателей (материалы свободного электронного доступа Всероссийского НИИ гидрометеорологической информации – Мировой центр данных, ВНИИГМИ–МЦД).

Результаты и их обсуждение

В современных отложениях днища балки “Темева речка” отчетливо выделяются два пика радиоактивности ^{137}Cs (рис. 3), датированные нами 1963 г. (максимум глобальных выпадений) и 1986 г. (чернобыльский пик). По двум разрезам выделяется также пик 1958 г. – второй по величине пик глобальных выпадений. Следует отметить, что пик 1963 г. практически повсеместно в умеренном климатическом поясе находится в интервале 15–20 Бк/кг (с учетом периода полураспада – около 30 лет) [2, 18–21]. Согласно результатам картирования радиоактивного загрязнения ЕТР, после аварии на Чернобыльской АЭС в исследуемом районе в 1986 г. выпадения из атмосферы ^{137}Cs были сопоставимы по величине с выпадениями 1963 г. [9], что, собственно, и отмечается во всех разрезах (рис. 3). В отдельных случаях пики могут несколько сглаживаться, так как при отборе слой с максимальной концентрацией может быть механически разделен на два образца почвы (стратозема).

Общий объем аккумулированных наносов в днище изученного участка балки за период 1963–1986 гг. составил 14.73 тыс. т, или 613.7 т/год, а в период 1987–2015 гг. – 3.85 тыс. т, или 132.9 т/год. Учитывая, что темпы аккумуляции напрямую зависят от интенсивности смыва со склонов, можно сделать общий вывод о том, что скорости механической денудации на водосборе в период после 1986 г. снизились как минимум в 4.5 раза. Данное заключение может быть несколько уточнено, так как не была проведена детальная оценка изменений темпов аккумуляции в небольших отвершках основной балки, а также по нижнему краю пашни и на правом борту балки выше старой напашки. Однако малая площадь этих зон аккумуляции по сравнению с площадью основного днища позволяет утверждать, что возможное уточнение не привело бы к принципиальным изменениям соотношения объемов наносов, отложившихся за сопоставляемые периоды.

Склоны балки “Темева речка” преимущественно средней крутизны (рис. 2). В верховьях они имеют сравнительно небольшую крутизну, при этом ширина днища составляет 4–5 м (IV участок). Здесь, включая днища примыкающих ложбин, суммарно аккумулировалось за первый период (1963–1986 гг.) 3649 т материала, за второй (1987–2015 гг.) – 1069 т. На следующем (III) участке, расположенном ниже по течению, наблюдается четкая асимметрия бортов: в верхней части участка (участок 3а) левый борт крутой и короткий, а правый – относительно пологий и длинный, а на участке 3б отмечается несколько противоположная картина. Эта асимметрия склонов сформировалась еще задолго до рассматриваемых нами периодов. В связи с тем, что эти два морфологически разных участка представлены всего лишь одним почвенным разрезом, то оценку темпов аккумуляции в них мы даем интегральную: 3480 т (1963–1986 гг.) и 1181 т (1987–2015 гг.) соответственно. Второй (II), наиболее протяженный участок характеризуется относительной асимметрией склонов и шириной днища 10–15 м и местами более. Здесь ежегодно аккумулировалось за первый период 3915 т, а за второй – 929 т. На первом, самом нижнем участке, имеющем наиболее пологие и сравнительно симметричные склоны балки, а также наиболее широкое ее днище (до 30 м и более), суммарная аккумуляция по периодам составила 3686 т и 674 т соответственно. Годовые темпы аккумуляции по участкам представлены на рис. 2.

Суммарные потери почвы для типичных севооборотов в пределах всего исследуемого водосбора составляли, согласно расчетам по эрозионным моделям, для первого периода (1963–1986 гг.) 746 т/год, для второго (1987–2015 гг.) – 617 т/год. При этом наибольший смыв (около 68% – для первого и второго периода) происходил с поверхностей водосбора, ложбины которых имеют прямые и выпуклые продольные профили (концентрированный сток) – значительная часть левобережья, все верховье и почти вся верхняя часть правобережья балочного водосбора (рис. 4), а наименьший (около 1% – для первого и второго периода) – со склонов с малыми уклонами (рассеянный сток) (табл. 3). Если исходить из результатов количественной оценки темпов эрозионно-аккумулятивных процессов для двух периодов, полученных на основе расчетов смыва почвы и фактических объемов отложений наносов в днище, то можно говорить о существенном уменьшении доли материала, аккумулируемого в днище балки, с 72% до 19% от суммарного объема смытых с пашни наносов, и увеличении доли наносов (с 11 до 63%), выносимых за ее пределы. Аккумуляция же на склонах водосбора и склонах самой балки практически не изменилась. Столь заметные расхождения между натурными и модельными оценками смыва почв на водосборе могут быть объяснены тем, что использованная нами в оценке талого смыва усовершенствованная модель ГГИ работает применительно лишь для условий относительно выровненных (не ложбинных) склонов. Здесь основная часть наносов могла поступать в балку за счет смыва с водосборов распаханых ложбин с прямыми и выпуклыми продольными профилями¹ по причине концентрации стока воды и наносов. Это подтверждают результаты 16-летних наблюдений на ряде склоновых водосборов юга лесной зоны Русской равнины [18], согласно которым смыв в период весеннего стока на ложбинных водосборах малых долин в 7.5–7.8 раз выше, чем на простых (не ложбинных) склонах.

Оценки баланса наносов в период 1963–1986 гг. соответствуют, в целом, полученным ранее результатам [17–21] для аналогичных по размерам водосборов, расположенных в других частях данной природной зоны. Для периода же 1987–2015 гг. рассчитанные величины смыва с пашни и, соответственно, вынос за пределы балки, скорее всего, значительно завышены. Если провести сравнение темпов годовой аккумуляции по участкам в днище балки (от верховьев к устью), то увеличивается, в целом, разрыв в этих темпах между первым и вторым периодами: на участке IV – 4.3 раза, на участке III (суммарно) – 3.7 раза, на участке II – 5.3 раза, на участке I – 6.8 раза. Это говорит о том, что при формировании поверхностного стока со склонов в период после 1987 г. большая часть наносов откладывалась сразу на выходе с пашни, а вниз по течению поступал уже менее насыщенный наносами сток. В то же время, донный врез, расположенный ниже по течению от разреза I (рис. 2), за период с 1987 г. вырос, в целом, значительно – около 200 м (6–7 м/год), что говорит о том, что сток воды с площади водосбора был немалым. Активному росту оврага во многом способствовало и увеличение живой силы потока, содержащего от раннего периода к позднему все меньше продуктов эрозии на водосборе (по крайней мере, в 1980–1990-е гг.). Быстрое развитие этого вреза было также обязано, скорее всего, нескольким экстремальным ливневым событиям в регионе. В период 1963–1986 гг., возможно, был дополнительный вынос наносов за счет размыва небольших овражных врез на бортах балки (как минимум из тех, которые показаны на топографической карте м-ба 1 : 10 000 (съёмка 1987 г.) как небольшие врезы). Этот вынос мог увеличить темпы аккумуляции наносов в основном днище, но, скорее всего, незначительно, поскольку эти наносы откладывались преимущественно в конусах выноса (рис. 2). В то же время следует учитывать, что в период после 1986 г. часть наносов, смытых с пашни, переотложилась в днищах этих врез, заполняя их. Эти наносы, к сожалению, также не были учтены в балансовой оценке.

Основной причиной отмеченных между периодами различий в темпах эрозионно-аккумулятивных процессов является, на наш взгляд, изменение гидрометеорологических

¹ На долю таких ложбинных участков приходится около 76% всей внебалочной площади водосбора “Темева речка”.

**Современные изменения баланса наносов в границах изученной части водосбора балки
“Темева речка”, Республика Татарстан**

Характеристики	Периоды							
	1963–1986 гг.				1987–2015 гг.			
Смыв								
Типы склонов и склоновых водосборов*	1	2	3	4	1	2	3	4
Площадь, га	57	13	13	4	57	13	13	4
Смыв почвы, т/га × год	8.9	6.2	17.6	8.9	7.4	5.4	14.1	7.5
Смыв почвы, т/год	507.3	80.6	228.8	35.6	421.8	70.2	183.3	30.0
Коэффициент доставки наносов**, %	100	60	80	20	100	60	80	20
Суммарная потеря почвы с каждого типа поверхности водосбора, т/год	507.3 (68%)	48.4 (6.5%)	183.0 (24.5%)	7.1 (1%)	421.8 (68.4%)	42.1 (6.8%)	146.6 (23.8%)	6.0 (1%)
Суммарная потеря почвы со всей площади водосбора, т/год	745.8 (100%)				616.5 (100%)			
Аккумуляция и вынос								
Суммарный смыв почвы, т/год	852.3 (100%)				705.3 (100%)			
Аккумуляция на распаханых склонах, т/год	106.5 (12.5%)				88.8 (12.6%)			
Аккумуляция в днище балки, т/год	613.7 (72.0%)				132.9 (8.8%)			
Аккумуляция на бортах балки и нераспаханых участках, т/год	40 (4.7%)				40 (5.7%)			
Вынос за пределы участка балки, т/год	92.1 (10.8%)				43.6 (62.9%)			

Примечание. * – типы склонов и склоновых водосборов см. рис. 4; ** – по [17].

Таблица 4

**Изменения мартовских температур атмосферного воздуха по метеостанции г. Казань (опорная)
за 1950–2015 гг.**

Периоды, гг.	Среднемесячная температура воздуха (март), °С	C_v
1950–1986	-6.1 ± 0.9	0.46
1987–2015	-3.6 ± 0.8	0.62

Примечание. C_v – коэффициент межгодовой вариации температуры.

условий в регионе. Общее потепление климата в большей мере сказалось на повышении температур в зимнее время (табл. 1) и в первый календарный весенний месяц (табл. 4). Это привело к снижению глубины промерзания почв и, как следствие, к сокращению поверхностного стока воды и стока наносов в период весеннего снеготаяния. На всех проанализированных близлежащих к балке метеорологических станциях (Нолинск, Сарapul, Чебоксары и Бакалы (рис. 1)) в период 1987–2011 гг. отмечается существенное увеличение позднемартовской температуры почвы на разных глубинах (табл. 5), что указывает на значимое сокращение глубин промерзания почвы. Сокращение запасов воды

**Изменения среднегогодовой температуры почвы на разной глубине (°С)
за третью декаду марта в период 1963–2011 гг.
(данные наблюдений метеостанций в регионе исследования (см. рис. 1))**

Метеостанции	Периоды, годы	Глубины, см		
		160	80	20
Чебоксары	1963–1985	1.70	0.40	–0.46
	1986–2011	1.98	0.47	–0.28
Нолинск	1963–1985	2.25	0.56	–0.47
	1986–2011	2.48	0.95	–0.01
Сарапул	1963–1985	1.79	0.37	–0.46
	1986–2011	2.50	1.05	0.00
Бакалы	1963–1985	1.27	–0.42	–0.97
	1986–2011	1.95	0.63	–0.30

Таблица 6

**Изменения среднегогодовых запасов воды в снежном покрове (мм) по декадам марта
по метеостанции г. Казань (университет) за 1966–2014 гг.**

Периоды, годы	Декада		
	1	2	3
1966–1986	133.8 ± 25.2	127.9 ± 22.8	106.3 ± 24.4
1987–2014	114.9 ± 24.4	112.3 ± 25.0	148.3 ± 28.4

в первой и во второй декадах марта (табл. 6) является свидетельством того, что на фоне общего увеличения осадков в зимнее время (табл. 2) возросло число зимних оттепелей, однако аномальной является в марте его третья декада, когда отмечается увеличение запасов воды в снеге.

Что касается влияния изменчивости осадков теплого времени года (апрель–октябрь) на темпы смыва почв с водосбора, то расклад здесь следующий: за период 1950–1986 гг. выпадало в среднем 375.8 ± 38.1 мм/год, тогда как за период 1987–2015 гг. – 357.7 ± 27.3 мм/год (табл. 2). Наблюдается сокращение (в 1.4 раза) количества дождей со слоем выпадения менее 10 мм и небольшой прирост количества дождей со слоем 10–20 мм (рис. 5). Количество же дождей со слоем 20–50 мм, имеющих большой эрозионный потенциал, остается, в целом, практически без существенных изменений, хотя вдвое сократилось количество дождевых событий с наиболее сильными ливнями, со слоем осадков 40–50 мм (рис. 5). Сокращение числа экстремальных ливней, которые вносят наибольший (>80% от среднегогодовых потерь) вклад в потери почвы при ливневом смыве [22], также не было учтено при расчетах по модифицированной модели USLE, что привело к завышению темпов смыва в период 1987–2015 гг. Более того, невозможно сейчас достоверно установить какое проективное покрытие почвы культурной растительностью на распахиваемой части исследуемого водосбора было в момент выпадения ливней со слоем 40–50 мм, но в любом случае вероятность формирования такого смыва в период 1963–1986 гг. была выше, чем в период 1987–2015 гг., если исходить из частоты выпадения экстремальных ливней данного слоя в эти периоды (рис. 5). Именно за счет снижения темпов смыва не только в период снеготаяния, но и, частично, при выпадении

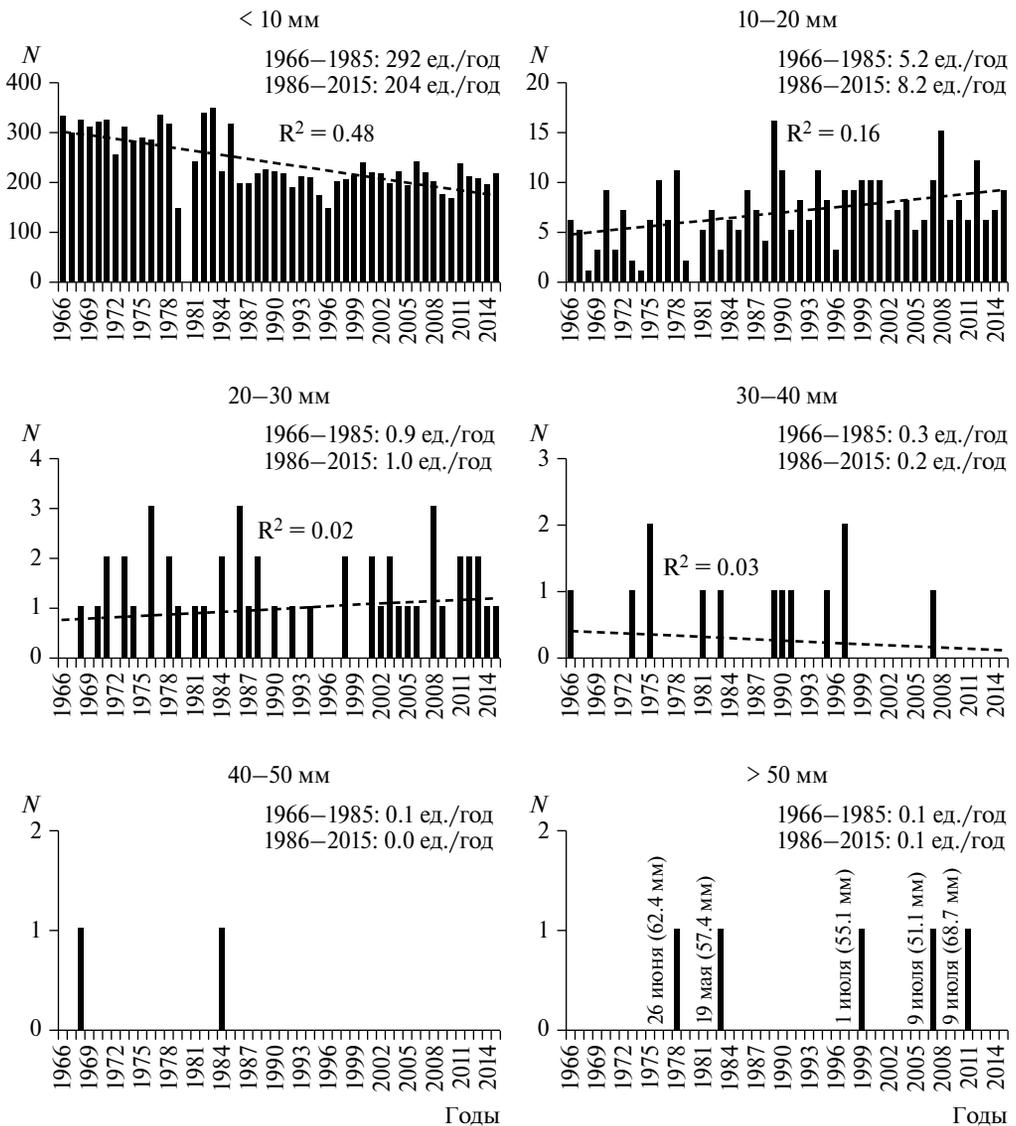


Рис. 5. Изменения количества дождевых событий (N , ед.) с разным слоем выпадения атмосферных осадков за теплый период года (апрель–октябрь) по метеостанции г. Казань (опорная) за 1966–2015 гг. R^2 – коэффициент детерминации линейного тренда (прямая пунктирная линия)

ливней, можно объяснить почти в два раза большее сокращение темпов аккумуляции между периодами 1963–1986 гг. и 1987–2015 гг. на водосборе “Темева речка” по сравнению с исследованным аналогичным по размерам и доли пашни водосбором “Ведуга”, расположенным в центральной части Среднерусской возвышенности, в бассейне одноименной реки Воронежской области [23].

Принципиальных изменений в морфологии и морфометрии водосбора, а также площади пашни на водосборе, которые потенциально могли повлиять на сокращение объемов накопленных наносов в днище балки после 1986 г. не выявлено, основываясь на анализе разновременных космических снимков LandSat. В то же время, расположенная близ бровки правого борта долины напашь (см. рис. 2), равно как и сформированная

выше нее по склону ниже пашни относительно узкая и ныне задернованная полоса, возраст которой достаточно сложно установить, также могла (могли) сыграть свою роль в задержке (снижении) массы продуктов эрозии, доставляемых с полей в днище балки после 1986 г. (рис. 4). Это следует учитывать в расчетах, принимая во внимание факт наиболее сильной эрозии именно на правобережных склонах водосбора, в силу больших их уклонов.

Таким образом, результаты изучения динамики эрозионно-аккумулятивных процессов за последние 55–60 лет на водосборе “Темева речка” позволяют предположить, что выявленная ранее для лесостепи и степи Среднерусской возвышенности современная тенденция сокращения темпов смыва почвы с пашни [2, 23, 24] наблюдается и в регионе Среднего Поволжья. Причем, судя по полученным результатам, в последнем отмечается более выраженное сокращение темпов смыва, обусловленное одновременным уменьшением как талого, так и, частично, ливневого стока с распаханых склонов.

Заключение

Изучение динамики аккумуляции наносов в днище исследуемой малой долины “Темева речка”, расположенной в северо-западной части Республики Татарстан (бассейн р. Мёша), указывает на существенное снижение темпов смыва почвы с пахотной части водосбора за последние десятилетия. Так, если за период 1963–1986 гг. средние темпы аккумуляции смытого почвенного материала составляли 0.92–1.81 см/год, то за период 1987–2015 гг. – лишь 0.17–0.50 см/год, т.е. сократились как минимум в 3–5 раз. Ведущей причиной снижения темпов смыва обрабатываемых почв явилось уменьшение поверхностного стока воды со склонов в период снеготаяния, вызванное общим потеплением климата в регионе, сокращением глубины промерзания почв и, возможно, запасов воды в снеге в период снеготаяния. Небольшой вклад в снижение темпов эрозионно-аккумулятивных процессов в границах водосбора внесло также уменьшение числа экстремальных ливневых событий со слоем выпадения 40–50 мм. Выявленная тенденция и климатические причины, ее обусловившие, имеют региональный характер и ранее установлены для ряда регионов южной половины ЕТР [25]. Влияние хозяйственной деятельности на указанную динамику эрозионно-аккумулятивных процессов на исследуемом водосборе было, по всей видимости, несущественным, хотя ее вклад предстоит изучить в дальнейшем более детально и на региональном уровне.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект 15-17-20006).

Acknowledgements. The study was funded by the Russian Science Foundation according to the research project No. 15-17-20006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Голосов В.Н., Острова И.В., Силантьев А.Н., Шкуратова И.Г.* Радиоизотопный метод оценки темпов внутрибассейновой аккумуляции // Геоморфология. 1992. № 1. С. 30–36.
2. *Goloso V.N., Belyaev V.R., and Markelov M.V.* Application of Chernobyl-derived ¹³⁷Cs fallout for sediment redistribution studies: Lessons from European Russia // Hydrological Processes. 2013. Vol. 27. No 6. P. 781–794.
3. *Goloso V.N., Panin A.V., and Markelov M.V.* Chernobyl ¹³⁷Cs Redistribution in the Small Basin of the Lokna River, Central Russia // Phys. Chem. Earth (A). 1999. Vol. 24. No 10. P. 881–885.
4. *Loughran R.J.* The use of the environmental isotope caesium-137 for soil erosion and sedimentation studies // Trend in Hydrology. 1994. No 1. P. 149–167.
5. *Higgit D.I.* The Development and Application of Caesium-137 Measurements in Erosion Investigation // Sediment and Water Quality in River Catchments. Ed. by I.D.L. Foster, A.M. Gurnell and B.W. Webb. Chichester (UK): John Wiley & Sons Ltd, 1995. P. 287–305.
6. *Porto P., Walling D.E., and Callegari G.* Using ¹³⁷Cs measurements to establish catchment sediment budgets and explore scale effects // Hydrological Processes. 2011. Vol. 25. P. 886–900.

7. *Walling D.E., Golosov V.N., Panin A.V., and He Q.* Use of radiocaesium to investigate erosion and sedimentation in areas with high levels of Chernobyl fallout // *Tracers in Geomorphology*. Chichester (UK): John Wiley & Sons Ltd, 2000. P. 183–200.
8. *Голосов В.Н.* Использование радиоизотопов при исследовании эрозионно-аккумулятивных процессов // *Геоморфология*. 2000. № 2. С. 26–33.
9. Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины / Под ред. Ю.А. Израэля. М.: ИГКЭ Росгидромета. Роскартография, 1998. 144 с.
10. *Дедков А.П.* Неотектоника и геоморфология Татарстана // *Геология Татарстана: стратиграфия и тектоника* / Гл. ред. Б.В. Буров. М.: ГЕОС, 2003. С. 337–364.
11. *Бутаков Г.П.* Неоплейстоцен // *Геология Татарстана: стратиграфия и тектоника* / Гл. ред. Б.В. Буров. М.: ГЕОС, 2003. С. 253–270.
12. *Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Шанталинский К.М., Наумов Э.П., Соколов В.В.* Климат и окружающая среда Приволжского федерального округа. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2013. 300 с.
13. *Ермолаев О.П., Игонин М.Е., Бубнов А.Ю., Павлова С.В.* Ландшафты Республики Татарстан. Региональный ландшафтно-экологический анализ. Казань: Слово, 2007. 411 с.
14. *Ермолаев О.П.* Пояса эрозии в природно-антропогенных ландшафтах речных бассейнов. Казань. Изд-во Казан. ун-та, 1992. 150 с.
15. *Yermolaev O.P.* Geoinformation mapping of soil erosion in the Middle Volga region // *Eurasian Soil Science*. 2017. Vol. 50. No. 1. P. 118–131.
16. *Ларионов Г.А.* Эрозия и дефляция почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 200 с.
17. *Panin A.V., Walling D.E., and Golosov V.N.* The role of soil erosion and fluvial processes in the post-fallout redistribution of Chernobyl-derived caesium-137: a case study of the Lapki catchment, Central Russia // *Geomorphology*. 2001. Vol. 40. No. 3–4. P. 185–204.
18. *Голосов В.Н.* Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М.: ГЕОС, 2006. 296 с.
19. *Голосов В.Н., Иванова Н.Н., Литвин Л.Ф., Сидорчук А.Ю.* Баланс наносов в речных бассейнах и деградация малых рек Русской равнины // *Геоморфология*. 1992. № 4. С. 69–71.
20. *Ivanova N.N., Golosov V.N., Zhokhova A.V., and Tishkina E.V.* Agrogeogenic Transformation of the Soil Cover Within a Small Catchment Area (by the Example of the Forest-Steppe Part of the Oka-Don Plain) // *Eurasian Soil Science*. 1998. Vol. 31. No. 2. P. 197–204.
21. *Тишкина Э.В., Беляев В.Р., Голосов В.Н., Гурарий Е.М.* Трансформация почвенного покрова малого водосбора за 300 лет сельскохозяйственного освоения (Тверская обл.) // *Почвоведение*. 2006. № 8. С. 990–1004.
22. *Edwards W.M. and Owens I.B.* Large storm effects on the total soil erosion // *Journal of Soil and Water Conservation*. 1991. No. 46. P. 75–78.
23. *Golosov V.N., Ivanova N.N., Gusev A.V., and Sharifullin A.G.* Assessment of the Trend of Degradation of Arable Soils on the Basis of Data on the Rate of Stratozem Development Obtained with the Use of ¹³⁷Cs as a Chronomarker // *Eurasian Soil Science*. 2017. Vol. 50. No. 10. P. 1195–1208.
24. *Голосов В.Н., Беляев В.Р., Маркелов М.В., Шамигурина Е.Н.* Особенности перераспределения наносов на малом водосборе за различные периоды его сельскохозяйственного освоения (водосбор Грачева Лощина, Курская область) // *Геоморфология*. 2012. № 1. С. 25–35.
25. *Golosov V., Gusev A., Litvin L., Yermolaev O., Chizhikova N., Safina G., and Kiryukhina Z.* Evaluation of soil erosion rates in the southern half of the Russian plain: methodology and initial results // *Proc. IAHS.2017*. Editor(s): A. Collins, M. Stone, A. Horowitz, and I. Foster, ICCE Symposium 2016 – Integrating monitoring and modelling for sediment dynamics, Okehampton, UK, 11–15 July 2016. Vol. 375. Copernicus Publications. P. 23–27. DOI:10.5194/piahs-375-23-2017

REFERENCES

1. Golosov V.N., Ostrova I.V., Silantye A.N., and Shkuratova I.G. Radioisotope technique of assessment of the present-day deposition rate within drainage basins. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1992. No. 1. P. 30–36. (in Russ.)
2. Golosov V.N., Belyaev V.R., and Markelov M.V. Application of Chernobyl-derived ¹³⁷Cs fallout for sediment redistribution studies: lessons from European Russia. *Hydrological Processes*. 2013. Vol. 27. No. 6. P. 781–794.
3. Golosov V.N., Panin A.V., and Markelov M.V. Chernobyl ¹³⁷Cs Redistribution in the Small Basin of the Lokna River, Central Russia. *Phys. Chem. Earth (A)*. 1999. Vol. 24. No. 10. P. 881–885.

4. Loughran R.J. The use of the environmental isotope caesium-137 for soil erosion and sedimentation studies. *Trend in Hydrology*. 1994. No. 1. P. 149–167.
5. Higgitt D.I. The Development and Application of Caesium-137 Measurements in Erosion Investigation. *Sediment and Water Quality in River Catchments*. Ed. by I.D.L. Foster, A.M. Gurnell and B.W. Webb. Chichester (UK): John Wiley & Sons Ltd, 1995. P. 287–305.
6. Porto P., Walling D.E., and Callegari G. Using ¹³⁷Cs measurements to establish catchment sediment budgets and explore scale effects. *Hydrological Processes*. 2011. Vol. 25. P. 886–900.
7. Walling D.E., Golosov V.N., Panin A.V., and He Q. Use of radiocaesium to investigate erosion and sedimentation in areas with high levels of Chernobyl fallout. *Tracers in Geomorphology*. Chichester (UK): John Wiley & Sons Ltd, 2000. P. 183–200.
8. Golosov V.N. Radiometric dating in the studies of erosion and accumulation. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2000. No. 2. P. 26–33. (in Russ.)
9. *Atlas radioaktivnogo zagryazneniya Evropeyskoy chasti Rossii, Belorussii i Ukrainy* (Atlas of Radioactive Pollution of the European Russia, Belarus and Ukraine). Yu.A. Izrael'. Ed. Moscow: Rosgidromet-Roscosmos (Publ.), 1998. 144 p.
10. Dedkov A.P. Neotectonics and geomorphology of Tatarstan, in *Geologiya Tatarstana: stratigrafiya i tektonika* (Geology of Tatarstan: Geology and Stratigraphy). B.V. Burov. Ed. Moscow: GEOS (Publ.), 2003. P. 337–364.
11. Butakov G.P. Neopleistocene, in *Geologiya Tatarstana: stratigrafiya i tektonika* (Geology of Tatarstan: Geology and Stratigraphy). B.V. Burov. Ed. Moscow: GEOS (Publ.), 2003. P. 253–270.
12. Perevedentsev Yu.P., Vereshchagin M.A., Shantalinskii K.M., Naumov E.P., and Sokolov V.V. *Klimat i okruzhayushhaya sreda Privolzhskogo federal'nogo okruga* (The climate and environment of the Volga Region Federal District). Kazan: Kazan University (Publ.), 2013. 300 p.
13. Yermolaev O.P., Igonin M.E., Bubnov A. Yu., and Pavlova S.V. *Landshaftnyy Respubliki Tatarstan. Regional'niy landshaftno-ekologicheskii analiz* (Landscapes of the Republic of Tatarstan. Regional landscape and environmental analysis). Kazan: Slovo (Publ.), 2007. 411 p.
14. Yermolaev O.P. *Poyasa erozii v prirodno-antropogennykh landshaftah rechnyh basseynov* (The zones of erosion in natural and anthropogenic landscapes of river basins). Kazan: Kazan University (Publ.), 1992. 150 p.
15. Yermolaev O.P. Geoinformation mapping of soil erosion in the Middle Volga region. *Eurasian Soil Science*. 2017. Vol. 50. No. 1. P. 118–131.
16. Larionov G.A. *Eroziya i deflyatsiya pochv* (Erosion and deflation of soils). Moscow: Moscow University (Publ.), 1993. 200 p.
17. Panin A.V., Walling D.E., and Golosov V.N. The role of soil erosion and fluvial processes in the post-fallout redistribution of Chernobyl-derived caesium-137: a case study of the Lapki catchment, Central Russia. *Geomorphology*. 2001. Vol. 40. No. 3–4. P. 185–204.
18. Golosov V.N. *Eroziionno-akkumulyativnyye protsessy v rechnyh basseynah osvoennykh ravnin* (Erosion and deposition processes in river basins of cultivated plains). Moscow: GEOS (Publ.), 2006. 296 p.
19. Golosov V.N., Ivanova N.N., Litvin L.F., and Sidorchuk, A. Yu. Sediment budget in drainage basins and decay of small rivers on the Russian plain. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1992. No. 4. P. 62–71. (in Russ.)
20. Ivanova N.N., Golosov V.N., Zhokhova A.V., and Tishkina E.V. Agrogeogenic transformation of the soil cover within a small catchment area (by the example of the forest-steppe part of the Oka-Don plain). *Eurasian Soil Science*. 1998. Vol. 31. No. 2. P. 197–204.
21. Tishkina E.V., Belyaev V.R., Golosov V.N., and Gurarii E.M. Transformation of Soil Cover Within a Small Catchment Area Over 300 Years of Agricultural Development (Tver Oblast). *Eurasian Soil Science*. 2006. Vol. 39. No. 8. P. 892–904.
22. Edwards W.M. and Owens I.B. Large storm effects on the total soil erosion. *Journal of Soil and Water Conservation*. 1991. No. 46. P. 75–78.
23. Golosov V.N., Ivanova N.N., Gusarov A.V., and Sharifullin A.G. Assessment of the Trend of Degradation of Arable Soils on the Basis of Data on the Rate of Stratozem Development Obtained with the Use of ¹³⁷Cs as a Chronomarker. *Eurasian Soil Science*. 2017. Vol. 50. No. 10. P. 1195–1208. DOI: 10.1134/S1064229317100039.
24. Golosov V.N., Belyaev V.R., Markelov M.V., and Shamshurina E.N. Specifics of sediment redistribution within a small arable catchment during different periods of its cultivation (Gracheva loschina catchment, the Kursk region). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2012. No. 1. P. 25–35. (in Russ.)
25. Golosov V., Gusarov A., Litvin L., Yermolaev O., Chizhikova N., Safina G., and Kiryukhina Z. Evaluation of soil erosion rates in the southern half of the Russian plain: methodology and initial results. *Proc. IAHS*. 2017. Editor(s): A. Collins, M. Stone, A. Horowitz, and I. Foster, ICCE Symposium 2016 – Integrating monitoring and modelling for sediment dynamics, Okehampton, UK, 11–15 July 2016. Vol. 375. Copernicus Publications. P. 23–27. DOI:10.5194/piahs-375-23-2017.