

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ  
И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 551.4.042

СОВРЕМЕННАЯ ЭРОЗИЯ И СТОК ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ  
НА СТЕПНОМ ЮГО-ВОСТОКЕ РУССКОЙ РАВНИНЫ  
(БАССЕЙН р. САМАРА)

© 2019 г. А. В. Гусаров\*, А. Г. Шарифуллин

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

\*e-mail: avgusarov@mail.ru

Поступила в редакцию 08.08.2017 г.; после доработки 29.06.2018 г.; принята в печать 21.09.2018 г.

В статье дана оценка современного тренда интенсивности эрозии в степной зоне юго-восточного сектора Русской равнины на примере бассейна р. Самара (в границах Оренбургской области) по результатам анализа многолетней динамики стока воды и взвешенных наносов реки. Оценка дополнена полевыми исследованиями современных темпов аккумуляции продуктов почвенно-овражной эрозии в днище балки типичного малого водосбора, входящего в бассейн реки, с использованием радиоактивного цезия-137 (в том числе черномыльского происхождения 1986 г.) в качестве хрономаркера. Полученные результаты показывают уменьшение стока взвешенных наносов в бассейне р. Самара в последние 30 лет по сравнению с 1940–1960 гг. как минимум вдвое. Данный тренд подтверждается снижением скоростей аккумуляции смытого почвенного материала в днище балки водосбора в последние десятилетия: с 1959–1986 гг. по 1986–2016 гг. они сократились, как минимум, в 3.0–3.6 раза. Основной причиной уменьшения темпов эрозии рассматривается сокращение стока воды со склонов в период снеготаяния, обусловленное повышением температуры воздуха и уменьшением глубины промерзания почв в регионе.

**Ключевые слова:** почвенная эрозия, сток воды, сток взвешенных наносов, седиментация, цезий-137, водосбор, балка, изменение климата, промерзание почвы, степь.

**DOI:** 10.31857/S2587-55662019137-51

В последние десятилетия на Русской равнине фиксируются выраженные направленные изменения климата [4, 20, 23, 30, 37], повлиявшие, в том числе, на меж- и внутригодовое распределение стока воды ( $Q$ ) рек. С начала 1980-х годов на большей части равнины отмечалось общее увеличение речного стока, внутригодовое перераспределение которого проявилось в деградации половодья как фазы водного режима, обусловленной повышением зимних температур воздуха и увеличением количества и продолжительности оттепелей. Это привело к сокращению предвесенних запасов воды в снежном покрове, уменьшению максимальных расходов воды половодья [29]. Отмеченные гидрометеорологические изменения, вне всякого сомнения, сказались на современных темпах эрозии, объемах транспорта (сток наносов) и аккумуляции ее продуктов во всех звеньях флювиальной сети данного региона Европы. Влияние вышеуказанных изменений на эрозионные процессы было дополнено изменениями в землепользовании (сокращение площади пашни, особенно ошутимое в период 1991–2005 гг., смена севооборотов). Они наиболее сильно затронули

юг лесной зоны равнины [32]. В степной зоне площадь сокращения обрабатываемых земель была меньшей. Согласно расчетам по моделям эрозии [32], общие объемы смытых почв в степи сократились, в среднем, на 14%. К сожалению, полевые исследования, которые подтвердили бы модельные выводы, в юго-восточном секторе степной зоны в последние десятилетия не проводились. Также не осуществлялись в это время и проводимые ранее на регулярной основе почвенно-эрозионные съемки.

Цель работы – оценка современного (с 1940-х годов) тренда общей интенсивности эрозионных процессов в степной зоне юго-востока Русской равнины на примере бассейна р. Самара (в границах Оренбургской области) по результатам изучения многолетней изменчивости стока взвешенных наносов ( $W_{взв.}$ ) как объективного показателя активности этих процессов [17], дополненного полевыми исследованиями в типичном малом распаханном водосборе.

**Физико-географическая характеристика бассейна р. Самара.** Река Самара – левый приток р. Волга, впадающий в нее южнее г. Самара. Общая площадь бассейна реки –

46 500 км<sup>2</sup>, в Оренбургской области (выше с. Елшанка) – 22 800 км<sup>2</sup> (49% от общей площади бассейна).

**Рельеф и геологическое строение.** Средняя абсолютная высота бассейна (здесь и далее – выше с. Елшанка), расположенного в пределах возвышенности Общий Сырт, – 181 м. Наивысшая высота бассейна – гора Медвежий Лоб, 405 м над ур.м. (междуречье р. Самара

и р. Большой Уран). В геологическом отношении бассейн складывается с поверхности в северной (правобережной) своей части терригенно-морскими отложениями пермской системы, в западной и южной частях (левобережье) – преимущественно терригенными отложениями триаса и юры. В долинах рек и по низким приречным водоразделам на поверхность выходят отложения неогеновой и четвертичной систем [8].

**Таблица 1.** Изменения средней многолетней температуры почвы (°С) на разной глубине весной 1963/1977–2011/2013 гг. на метеорологических станциях в г. Бугуруслан и г. Оренбург (Оренбургская область)

Метеорологические станции, город	Месяц/декада	Периоды, гг.	Глубины		
			20 см	80 см	160 см
Бугуруслан	апрель/первая	1977–1986	– (–)	0.35 (33)	1.95 (0)
		1987–2011	1.20 (20)	1.35 (0)	2.92 (0)
	март/последняя	1977–1986	– (–)	0.04 (40)	1.94 (0)
		1987–2011	0.19 (36)	1.10 (8)	2.98 (0)
Оренбург	апрель/первая	1963–1986	2.24 (24)	0.16 (30)	1.16 (13)
		1987–2013	3.63 (15)	1.20 (22)	1.89 (0)
	март/последняя	1963–1986	–0.54 (79)	–0.49 (57)	1.01 (17)
		1987–2013	0.27 (59)	0.09 (37)	1.64 (7)

*Примечание.* В скобках – доля лет (в % от имеющихся данных) в периоде с отрицательной среднедекадной температурой почвы на данной глубине.

**Климат** бассейна реки – умеренно-континентальный с жарким летом с суховеями и холодной зимой с устойчивым снежным покровом. По данным метеорологической станции в г. Сорочинск (запад Оренбургской области), среднегодовая (за 1946–2015 гг.) температура воздуха составила  $4.7 \pm 0.3$  °С<sup>1</sup> (1946–1986 гг. –  $4.2 \pm 0.3$  °С, 1987–2015 гг. –  $5.3 \pm 0.4$  °С). С 1940-х годов наблюдался рост среднемесячной температуры апреля – месяца наиболее активного снеготаяния в регионе: 1946–1986 гг. –  $6.0 \pm 0.9$  °С, 1987–2015 гг. –  $6.8 \pm 0.9$  °С. Среднегодовое количество осадков за 1960–2015 гг. (г. Сорочинск) составило  $373 \pm 19$  мм. Наибольшее количество осадков в бассейне приходится на верховье р. Самара (более 450 мм), наименьшее (менее 300 мм) – на юго-западный сектор бассейна. За апрель–октябрь выпадало  $251 \pm 16$  мм (67%), за ноябрь–март –  $122 \pm 9$  мм (33%). С 1960-х годов также отмечен общий рост количества осадков в теплый период года: 1960–1986 гг. –  $231 \pm 17$  мм/год, 1987–2015 гг. –  $268 \pm 24$  мм/год (разница средних величин между периодами  $\Delta = +16\%$ ) (рис. 1). Период с ноября по март характеризовался такими же соразмерными темпами роста количества осадков: 1960–1986 гг. –

$114 \pm 14$  мм/год, 1987–2015 гг. –  $133 \pm 12$  мм/год ( $\Delta = +17\%$ ). В последние 60 лет в регионе отмечается тенденция как увеличения в конце марта и в начале апреля запасов воды в снежном покрове (по данным метеостанции в г. Сорочинск), так и их слабого сокращения (по метеостанции в г. Бугуруслан) (рис. 2) на фоне общего роста температуры (уменьшения промерзания) почв в это время года (табл. 1).

**Речной сток.** Крупнейшими реками бассейна являются: правобережные притоки Самары – Ток, Малый и Большой Ураны, Боровка, а также ее и ее левобережный приток – р. Бузулук. Средний многолетний модуль  $Q$  в бассейне реки (выше с. Елшанка) за 1940–2012 гг. –  $2.12$  л/с/км<sup>2</sup>, средний многолетний модуль  $W_{взв.}$  за 1940–1990 гг. и 2008–2012 гг. –  $14.1$  т/км<sup>2</sup>/год.

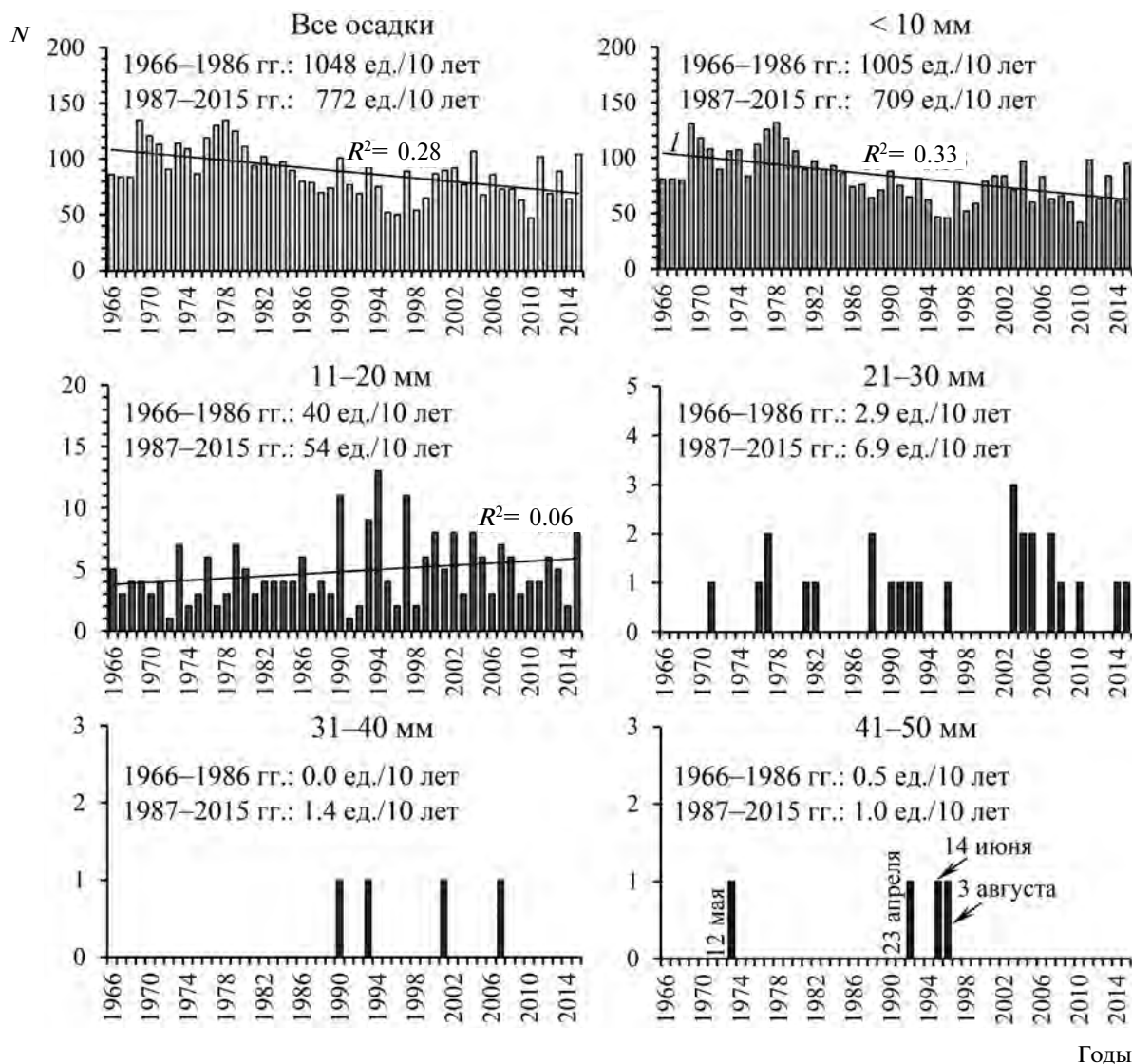
**Ландшафты.** Бассейн расположен на востоке степной зоны (подзона южной степи) Русской равнины. Коренной растительный покров состоит здесь преимущественно из типчаково-ковыльных и разнотравно-ковыльных степных формаций. Почвенный покров представлен черноземами обыкновенными и южными глинистыми и тяжелосуглинистыми (на западе бассейна р. Бузулук и в бассейне верховья р. Самара – легко- и среднесуглинистыми) на позднечетвертичных делювиальных суглинках в разной степени эродированных и дефлированных [8].

<sup>1</sup>Здесь и далее доверительные интервалы установлены с надежностью 95%.

По долинам рек развиты аллювиальные почвы. Распаханность почв в бассейне реки почти всюду высокая. На 1985 г., по нашим оценкам, доля пашни по бассейну р. Самара выше хут. Кленовый ( $F = 2874 \text{ км}^2$ ) оценивалась 58.4% (по бассейну левобережной р. Бузулук – около 65% [14]), а в 2015 г. она сократилась до 50.3%<sup>2</sup>. По данным Федеральной службы государственной статистики (<https://fedstat.ru>), усредненная по периодам структура посевов по Оренбургской области имела следующую динамику: зерновые культуры – 77% (1950–1956 гг.), 74% (1970–

1987 гг.), 70% (1996–2016 гг.); кормовые – 17, 23 и 19% соответственно, технические – 4, 2 и 10% соответственно, овощные – 2, 1 и 1% соответственно.

**Методы исследования.** Для выявления современных направленных изменений интенсивности эрозии в бассейне р. Самара проанализированы доступные многолетние ряды наблюдений за  $Q$  и  $W_{\text{взв.}}$  этой реки и некоторых ее притоков в период с 1940 по 2012 гг., материалы по которым получены из гидрологических выпусков [14, 24, 25], а также фондов

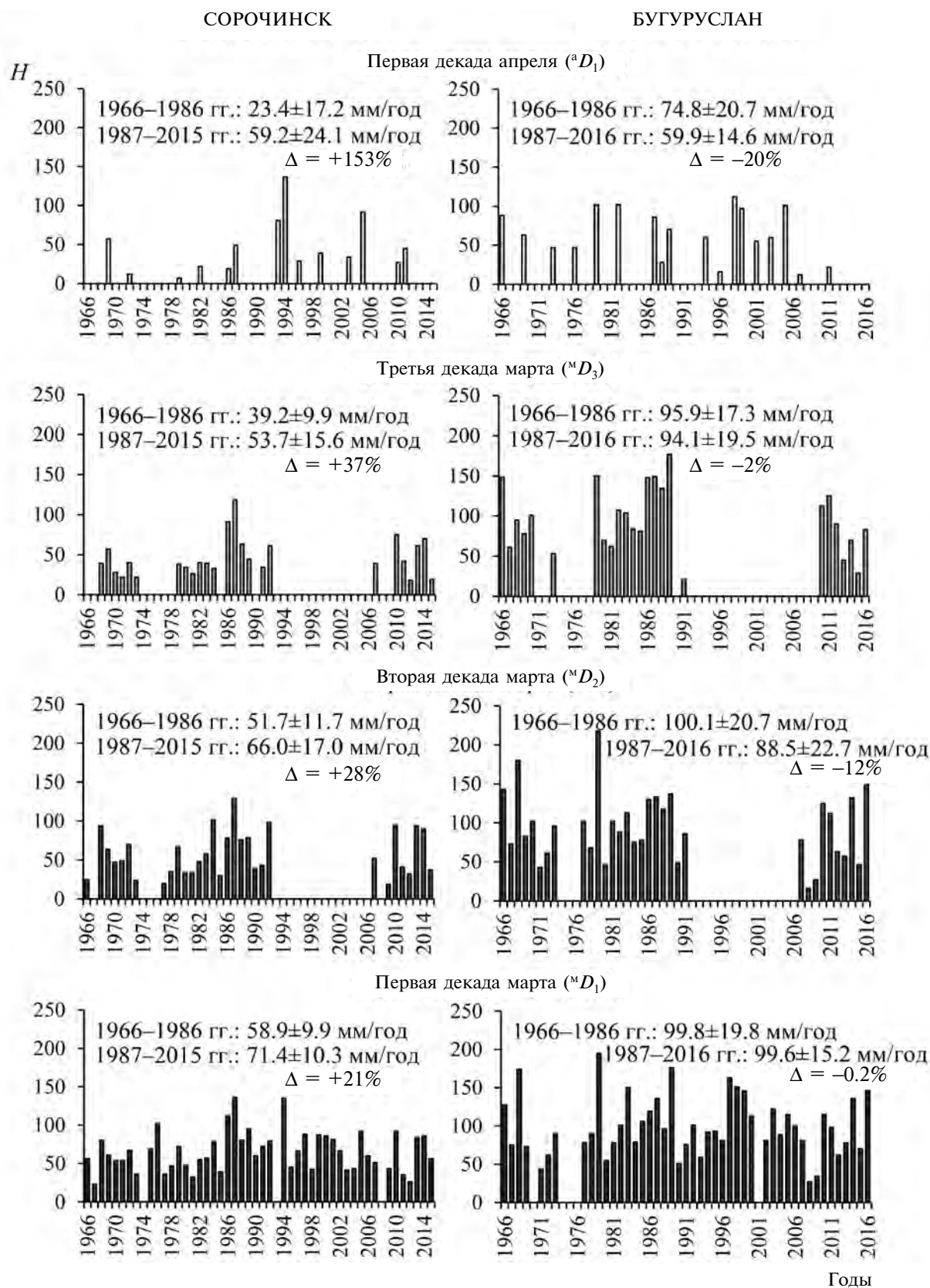


**Рис. 1.** Изменения количества дождевых событий ( $N$ , ед.) с разным слоем выпадения с апреля по октябрь на метеорологической станции в г. Сорочинск (Оренбургская область) за 1966–2015 гг.

$I$  – линейный тренд с коэффициентом его аппроксимации ( $R^2$ ).

*Примечание.* Осадков со слоем выпадения  $\geq 51$  мм не наблюдалось.

<sup>2</sup> В середине XIX в. распаханность бассейна р. Самара в Оренбуржье не превышала первых процентов, но к 1887 г. она уже достигла 53%, увеличившись к 1930-м годам (67%) [18]. К середине XX в. площадь пашни вновь сократилась (до 55%) со значительными вариациями по отдельным малым бассейнам. При этом распаханность левобережной части бассейна р. Самара выше, в целом, чем его правобережной части.



**Рис. 2.** Многолетняя изменчивость запасов воды в снежном покрове ( $H$ , мм) на метеорологических станциях в г. Сорочинск и г. Бугуруслан (Оренбургская область) в марте и начале апреля 1966–2015/2016 гг.

$\Delta$  – относительное изменение усредненного показателя  $H$  между периодами;  $r$  – коэффициент линейной корреляции.

*Примечание.* Нулевые значения по ряду лет в марте связаны, как правило, с отсутствием данных в эти годы.

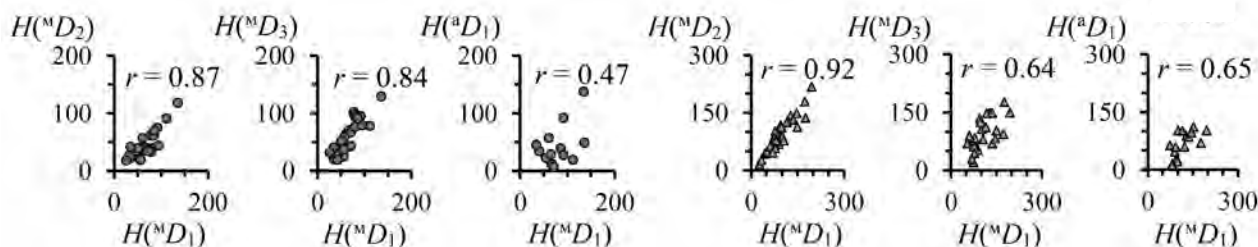


Рис. 2. (Окончание).

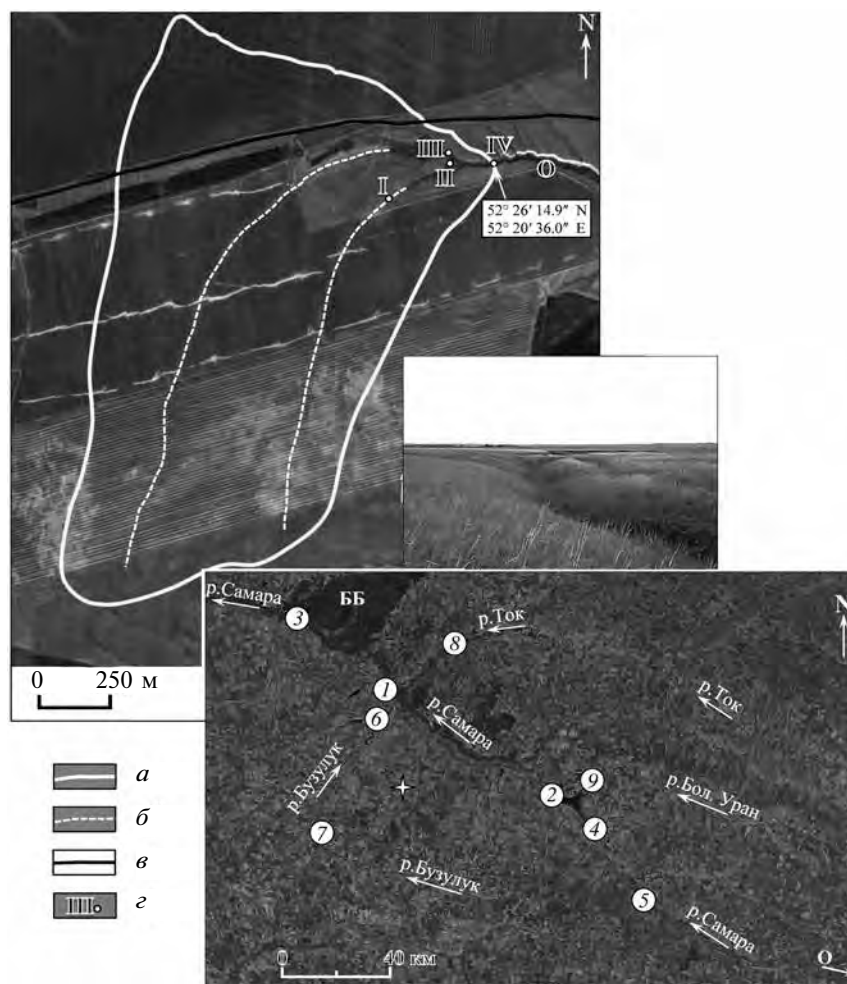
ФГБУ “Всероссийского НИИ гидрометеорологической информации—Мировой центр данных” (ФГБУ “ВНИИГМИ—МЦД”): р. Самара (с. Елшанка,  $F = 22800 \text{ км}^2$ ):  $Q$  — за 1940–2012 гг.,  $W_{\text{взв.}}$  — за 1940–1990 гг. и 2008–2012 гг.; р. Ток (д. Ероховка,  $F = 5440 \text{ км}^2$ ):  $Q$  и  $W_{\text{взв.}}$  — за 1964–1975 гг. и 2008–2012 гг.; р. Бузуклук (д. Перевозниково,  $F = 4280 \text{ км}^2$ ):  $Q$  — за 1951–2013 гг.,  $W_{\text{взв.}}$  — за 1965–1975 гг. и 2008–2012 гг.; р. Большой Уран (с. Ивановка,  $F = 2110 \text{ км}^2$ ):  $Q$  — за 1933–1953 гг. и 2008–2012 гг.,  $W_{\text{взв.}}$  — за 1933–1937 гг. и 2008–2012 гг. (рис. 3). Материалы ФГБУ “ВНИИГМИ—МЦД” послужили также основой для анализа распределения числа дождевых событий со слоями выпадения  $\leq 10$ , 11–20, 21–30, 31–40, 41–50 и  $\geq 51$  мм за период 1966–2015 гг., запасов воды в снеге за период 1966–2015 гг. по метеорологическим станциям в г. Сорочинск и г. Бугуруслан (Оренбургская область), изменений весенней температуры почвы в 1963–2013 гг. по данным станций в г. Оренбург и г. Бугуруслан.

Анализ современных разновременных толщ наносов днищ малых отрицательных, в настоящее время относительно стабильных, линейных форм рельефа (нераспахиваемые части ложбин, лощин, балок и т.д.), позволяет выявить общую направленную изменчивость темпов эрозии в пределах их водосборов [10, 12]. Одним из широко применяемых методов оценки современных темпов накопления сносимых со склонов продуктов почвенно-овражной эрозии является использование в качестве хрономаркера радиоактивного цезия-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) [9, 10, 13, 31, 33, 36, 39, 41 и др.]. Этот изотоп появился в окружающей среде с начала массового выпадения (с 1954 г.) при испытаниях ядерного оружия в открытой атмосфере. Выделяют, прежде всего,  $^{137}\text{Cs}$  “бомбового” происхождения, который выпадал преимущественно в северном полушарии планеты [38], с максимальным выпадением в 1963 г. (пиковый период — 1962–1964 гг.). Второй (меньший) пик глобальных выпадений пришелся на 1959 г. (на Русской равнине — 1958/1959 гг.). Оба пика предшествуют пику  $^{137}\text{Cs}$  чернобыльского

(1986 г.) происхождения с ареалом выпадения преимущественно в Восточной, Центральной и Северной Европе [2]. Пики с относительно высокой точностью ( $\pm 1\text{--}3$  см) фиксируют высотное положение поверхности почвы (наносов) на момент выпадения  $^{137}\text{Cs}$  в эти годы. При условии сохранности в наносах маркирующих  $^{137}\text{Cs}$ -пиков появляется возможность датировки темпов седиментации (и эрозии) за три периода — 1958/1959)–1963 гг., 1963/1964–1986 гг. и с 1986/1987 гг. и до момента отбора проб.

Исследованный малый водосбор (с площадью  $1.92 \text{ км}^2$ ) расположен в бассейне р. Большая Погромка (левый приток р. Самара, междуречье р. Самара и р. Бузуклук) в  $3.5 \text{ км}$  к северо-западу от центра п. Суворовский (Тоцкий район Оренбургской области) (см. рис. 3). Средняя высота водосбора — ок.  $177 \text{ м}$  над ур.м. (близка к средней высоте бассейна р. Самара выше с. Елшанка), амплитуда высот водосбора — около  $45 \text{ м}$ . Средний угол наклона его поверхности — около  $2^\circ$ . Исследованный водосбор является репрезентативным в бассейне р. Самара по ряду морфометрических характеристик рельефа, таких как средняя высота и средние уклоны. С юга на север, в направлении к балке, протягиваются две крупные ложины протяженностью  $1890 \text{ м}$  (западная, продолжение основной долины) и  $1310 \text{ м}$  (восточная, ложина-“приток”) (см. рис. 3). Структура землепользования на водосборе следующая: пашня (в 2016 г. — технические культуры — подсолнечник и др.) —  $1.59 \text{ км}^2$  (82.7%), естественные остепненные луга, используемые под пастбища и сенокос, —  $0.3 \text{ км}^2$  (15.6%), противоэрозионная и ветрозащитная посадка из клена ясенелистного —  $0.028 \text{ км}^2$  (1.5%), пруд для водопоя скота к северу от низовья западной ложины —  $0.00362 \text{ км}^2$  (0.2%).

В ходе полевых работ в августе 2016 г. была проведена съемка балки водосбора электронным тахеометром. По ее результатам выбраны места заложения четырех почвенных (стратоземы) разрезов, каждый из которых характеризует участок транспорта смытых с вышележащей пашни наносов по различным частям верхних звеньев



**Рис. 3.** Изученный малый водосбор (верхний космический снимок, GeoEye) и его географическое положение (показано четырехконечной белой звездочкой) и ближайшие окрестности в бассейне р. Самара (нижний космический снимок высокого разрешения со спутника WorldView-2; дата съемки: 15.09.2010 г.).

*a* – линия водораздела водосбора относительно створа в балке (разрез IV), *б* – тальвеги западной и восточной ложин, *в* – грейдерная дорога, *г* – почвенные разрезы в днище балки (разрезы III и IV) и ее правобережного “притока” – восточной ложины (разрезы I и II); O – донный овраг.

*Населенные пункты Оренбургской области:* 1 – г. Бузулук, 2 – г. Сорочинск, 3 – с. Елшанка, 4 – хут. Кленовый, 5 – пгт. Новосергиевка, 6 – д. Перевозниково, 7 – д. Байгоровка, 8 – д. Ероховка, 9 – с. Ивановка, O – г. Оренбург; *прочие объекты:* ББ – Бузулукский бор.

*Примечание.* На фотографии – вид балки выше по течению от почвенного разреза III (фото А.В. Гусарова).

флювиальной сети (см. рис.3)<sup>3</sup>. В разрезах по-слойно (верхние горизонты – через 2–3 см, нижние горизонты – через 5 см), с фиксированной площади 15×15 см отбирались образцы почвы (наносов).

В НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева Географического факультета МГУ (исполнитель – М.М. Иванов) в образцах измеряли удельную концентрацию <sup>137</sup>Cs на коаксиальном германиевом гамма-спектрометре с погрешностью 5–10%. В НИЛ “Экологические

инновации” кафедры прикладной экологии Института экологии и природопользования ФГАОУ ВО “Казанский (Приволжский) федеральный университет” (исполнитель – И.Б. Выборнова) проведен гранулометрический анализ образцов (размерность – менее 2 мм – 2000 μm) на анализаторе Microtrac Bluewave S3500 с технологией трех лазеров.

**Результаты.** 1. Анализ многолетней изменчивости  $Q$  и  $W_{\text{взв.}}$  р. Самара позволяет выделить с 1940 г. как минимум три периода активности эрозионных процессов в ее бассейне – 1940–1967 гг., 1968–1984 гг. и 1985–2012 гг., различающиеся средними величинами этих гидрологических составляющих (рис. 4). Несмотря на возросший с середины 1980-х годов

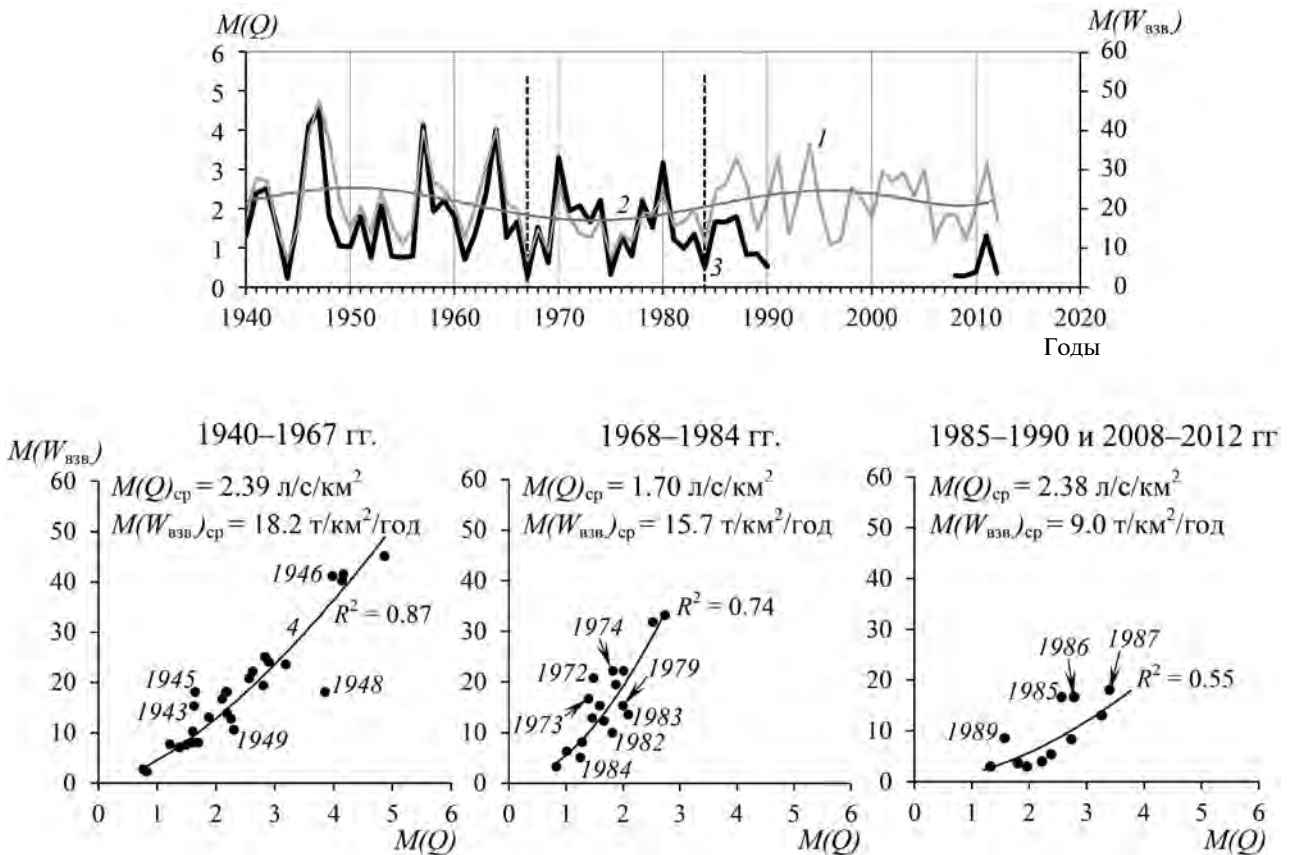
<sup>3</sup> Разрез I: максимальная глубина – 1.00 м, максимальная глубина отбора образцов – 0.73 м; разрез II: 1.05 м и 0.80 м соответственно; разрез III: 0.72 м и 0.58 м соответственно; разрез IV: 0.96 м и 0.81 м соответственно.

$Q$  реки, нисходящий тренд  $W_{\text{взв.}}$  с 1940-х годов сохранялся устойчивым и даже усилился с начала 1990-х годов: средние многолетние модули  $W_{\text{взв.}}$  в 1985–2012 гг. были вдвое меньшими, чем в период 1940–1967 гг. (см. рис. 4). Отмечалось также общее уменьшение межгодовой неравномерности (коэффициента вариации  $C_v$ ) обоих стоков: 1940–1967 гг.:  $Q - 0.44$ ,  $W_{\text{взв.}} - 0.64$ ; 1968–1984 гг.:  $Q - 0.29$ ,  $W_{\text{взв.}} - 0.54$ ; 1985–2012 гг.:  $Q - 0.30$ ,  $W_{\text{взв.}}$  – нет надежных данных. Тренд сокращения  $W_{\text{взв.}}$  р. Самара прослеживался, с той или иной степенью выраженности, и по ее главным притокам: р. Бузулук (д. Перевозниково,  $F = 4280 \text{ км}^2$ ):  $Q$  за 1951–1975 гг. –  $1.22 \text{ л/с/км}^2$ , за 2008–2012 гг. –  $1.73 \text{ л/с/км}^2$  (увеличение в 1.4 раза),  $W_{\text{взв.}}$  за 1965–1975 гг. –  $25.3 \text{ т/км}^2/\text{год}$ , за 2008–2012 гг. –  $8.1 \text{ т/км}^2/\text{год}$  (уменьшение в 3.1 раза); р. Ток (д. Ероховка,  $F = 5440 \text{ км}^2$ ):  $Q$  за 1964–1975 гг. –  $2.29 \text{ л/с/км}^2$ , за 2008–2012 гг. –  $2.46 \text{ л/с/км}^2$  (увеличение в 1.1 раз),  $W_{\text{взв.}}$  за 1964–1975 гг. –  $31.3 \text{ т/км}^2/\text{год}$ , за 2008–2012 гг. –  $6.5 \text{ т/км}^2/\text{год}$  (уменьшение в 4.8 раза);

р. Большой Уран (с. Ивановка,  $F = 2110 \text{ км}^2$ ):  $Q$  за 1933–1937 гг. –  $1.04 \text{ л/с/км}^2$  (за 1933–1953 гг. –  $2.22 \text{ л/с/км}^2$ ), за 2008–2012 гг. –  $2.30 \text{ л/с/км}^2$  (увеличение в 2.2 (1.04) раза),  $W_{\text{взв.}}$  за 1933–1937 гг. –  $16 \text{ т/км}^2/\text{год}$ , за 2008–2012 гг. –  $6.9 \text{ т/км}^2/\text{год}$  (уменьшение в 2.3 раза).

Таким образом, полученные результаты показывают уменьшение массы взвешенных наносов в 2008–2012 гг. по сравнению с 1960–1970-ми годами (для р. Большой Уран – 1930-ми годами), как минимум, в 2.3–4.8 раза.

2. Анализ вертикального распределения изотопа  $^{137}\text{Cs}$  в почвенных (стратоземы) разрезах дна балки малого водосбора, в сочетании с глубинными изменениями гранулометрического состава и полевым описанием отложений, позволяет интерпретировать изменения темпов эрозионных и аккумулятивных процессов на водосборе. Так, во всех почвенных разрезах толща наносов, которая накопилась в период 1959–1986 гг. (нижняя толща), превосходит по мощности вышележащую толщу наносов,



**Рис. 4.** Многолетняя изменчивость стока воды ( $M(Q)$ , л/с/км<sup>2</sup>) и стока взвешенных наносов ( $M(W_{\text{взв.}})$ , т/км<sup>2</sup>/год) р. Самара/Елшанка (см. рис. 3) в период 1940–2012 гг.

$M(Q)_{\text{ср}}$  и  $M(W_{\text{взв.}})_{\text{ср}}$  – усредненные за периоды модули стока воды и стока взвешенных наносов соответственно; 1943, 1945 ... – годы наблюдений; 1 –  $M(Q)$ , 2 – полиномиальный тренд шестой степени ряда  $M(Q)$ , 3 –  $M(W_{\text{взв.}})$ ;  $R^2$  – коэффициент аппроксимации степенного тренда (4).

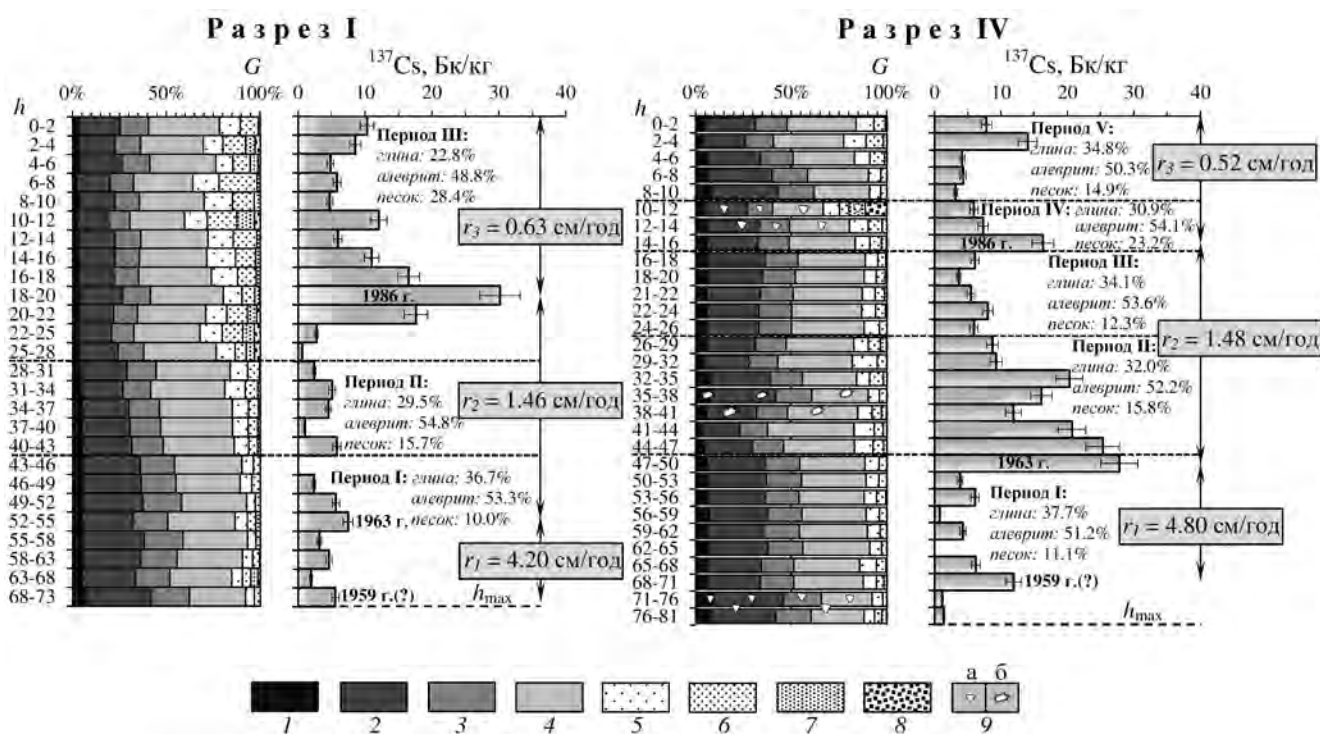
*Примечание.* Данные по величинам  $M(W_{\text{взв.}})$  за период 1991–2007 гг. отсутствуют.



отложившуюся в 1986–2016 гг. (верхняя толща). По всем разрезам пик  $^{137}\text{Cs}$  чернобыльского происхождения захоронен отложившимися с 1986 г. наносами на сравнительно близкую глубину, а именно: разрез I – 0.18–0.20 м (средняя скорость аккумуляции – 0.63 см/год), разрез II – 0.18–0.21 м (0.68 см/год), разрез III – 0.14–0.17 м (0.55 см/год), разрез IV – 0.14–0.16 м (0.52 см/год). Выделение данного пика  $^{137}\text{Cs}$  позволяет расчленить всю вскрытую толщу стратоземов, как минимум, на две разновременные пачки, сформированные до и после 1986 г. соответственно. В толще наносов разреза IV надежно (концентрация цезия – свыше 27 Бк/кг) выделяется также пик 1963 г. (на глубине 0.47–0.50 м) (рис. 5). В остальных разрезах пик  $^{137}\text{Cs}$  глобального происхождения выделяется с меньшей достоверностью (содержание изотопа 10–15 Бк/кг), что обусловлено, вероятно, его частичным размывом более концентрированными в пределах данных эрозионных форм потоками талых и дождевых вод

после выпадения цезия-137 на поверхность стратозема.

В разрезе I<sup>4</sup> стратозема обособлены три разновременные пачки наносов, различающиеся по соотношению в них глинистой, алевритовой и песчаной фракций (см. рис. 5). Похожая тенденция значительного уменьшения за последние 35 лет содержания физической глины и ила в гранулометрическом составе эродированных черноземов типичных отмечается [6, 27] в соседней Республике Башкортостан. Выделенная, согласно изменению гранулометрического состава отложений по глубине в почвенном разрезе I по времени накопления, периодизация соответствует динамике изменения  $W_{\text{взв}}$  в бассейне р. Самара, где четко обособляются, в целом, те же три периода и с общей тенденцией сокращения вклада бассейновой составляющей в  $W_{\text{взв}}$  (см. рис. 4). Соответственно, расчленение толщи наносов в разрезе I позволяет предположить наличие существенного сокращения скорости смыва (тонкозернистых продуктов почвенной



**Рис. 5.** Вертикальное распределение гранулометрического состава ( $G$ ) и концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в почвенных разрезах I и IV дна балки изученного малого водосбора (см. рис. 3).

$h$  – глубина ( $h_{\text{max}}$  – максимальная) отбора образцов (см); скорости аккумуляции за периоды:  $r_1$  – 1959–1963 гг.,  $r_2$  – 1963–1986 гг.,  $r_3$  – 1986–2016 гг.

**Гранулометрический состав:** глина: 1 – мелкозернистая (0.2–1  $\mu\text{m}$ ), 2 – крупнозернистая (1–5  $\mu\text{m}$ ); алеврит: 3 – мелкозернистый (5–10  $\mu\text{m}$ ), 4 – крупнозернистый (10–50  $\mu\text{m}$ ); песок: 5 – тонкозернистый (50–100  $\mu\text{m}$ ), 6 – мелкозернистый (100–250  $\mu\text{m}$ ), 7 – среднезернистый (250–500  $\mu\text{m}$ ), 8 – крупно- и грубозернистый (500–2000  $\mu\text{m}$ ); 9 – карбонаты (а – щебень в разной степени окатанный, б – формы новообразований почвы).

<sup>4</sup> Разрез расположен в нераспаханной (залуженной) части низовий дна восточной ложины, наиболее близко к кромке пашни (см. рис. 3).



эрозии) на пашне почти в 6.7 раза между 1959–1963 гг. и 1986–2016 гг., а между периодами 1963–1986 гг. и 1986–2016 гг. – в 2.3 раза.

Формирование наносов, вскрытых разрезом IV, было сложнее, чем наносов разреза I. Это отразилось в более сложной периодизации накопления наносов с различным соотношением тонких и грубых гранулометрических фракций, вплоть до наличия прослоев из разноокатанного щебня (см. рис. 5). Объясняется это расположением разреза в днище сравнительно глубже врезанной балки, где по ее бортам нередки выходы дочетвертичных пород (в том числе мергеля), а также большей площадью водосбора, расположенного выше по течению разреза IV, что предполагает формирование более значительно поверхностного стока, его более сложную динамику. Тем не менее, здесь также устанавливается сокращение темпов аккумуляции в 9.2 раза между 1959–1963 и 1986–2016 гг., а между периодами 1963–1986 и 1986–2016 гг. – в 2.8 раза, и это характеризует современную динамику эрозионно-аккумулятивных процессов уже на всем водосборе.

Таким образом, полученные результаты показывают уменьшение интенсивности смыва и размыва почв в границах изученного водосбора в последние 30 лет по сравнению с предшествующим периодом: если за 1959–1986 гг. темпы аккумуляции смытого почвенного материала в днище долины составляли минимум 1.9–2.0 см/год (1959–1963 гг. – 4.2–4.8 см/год), то за 1986–2016 гг. – лишь 0.52–0.68 см/год, т.е. сократились между периодами, как минимум, в 3.0–3.6 (6.2–9.2) раза.

**Обсуждение.** Как и на большей части Русской равнины [29], в бассейне р. Самара отмечается общая деградация половодья: средняя доля половодного стока с 1940–1967 по 1985–2010 гг. сократилась с 64 до 50% годовой его величины (табл. 2), снижаясь в отдельные годы последнего периода часто даже ниже 40%. Деградация половодья выразилась в значительном сокращении наибольших (наиболее эрозионно-опасных) расходов воды в эту фазу: между 1940–1967 и 1985–2010 гг. они уменьшились в реке почти вдвое (см. табл. 2). Более чем на 20% между указанными периодами уменьшился суммарный слой стока воды в половодье в целом по бассейну р. Самара, на 36% уменьшилась интенсивность половодного стока, в том числе в связи с увеличением продолжительности половодья почти на одну неделю. Снижение стока в весеннее половодье сопровождалось его увеличением во внеполоводное время года. Это произошло, в том числе, за счет роста объемов паводкового стока (в 2.6 раза) и его суммарной продолжительности (в 2 раза) (см. табл. 2). Весьма зна-

чительно (на 90%) увеличились расходы воды в зимнюю межень по причине более частых оттепелей в последние десятилетия [29].

Многолетняя изменчивость температуры и глубины промерзания почв оказывали наибольшее влияние на развитие эрозии в период весеннего снеготаяния в бассейне реки, поскольку при некотором (лимитирующем) значении одного из факторов (глубина промерзания, температура воздуха и запасы воды в снеге) сток не формируется вне зависимости от значения иных факторов [3]. М.А. Комиссаров и И.М. Габбасова [21] показали, что в годы, когда глубина промерзания чернозема выщелоченного на пахотных склонах Южного Предуралья находилась в пределах 30–38 см, поверхностный сток отсутствовал независимо от снегозапасов, уровня увлажнения почвы и ее защищенности растительностью. Отметим, что изменчивые в пространстве и времени осенние влагозапасы в почво-грунтах, которые находятся в тесной связи с глубиной промерзания последних, являются, с одной стороны, источником дополнительного количества воды весной и, с другой стороны, оказывают влияние на цементацию почвы зимой, увеличивая период ее весеннего оттаивания и, тем самым, внося существенный вклад в формирование максимального стока [7]. Мы не рассматривали отдельно временную изменчивость этого показателя применительно к бассейну р. Самара, но предполагаем, что его тенденция могла быть однонаправленной с той, что наблюдалась в соседнем Башкирском Предуралье: в период с 1961 по 2010 гг. по трем характерным метеостанциям (Аксаково, Будзьяк и Чишма) осенние влагозапасы характеризовались тенденцией снижения на фоне циклической изменчивости [7].

Выраженный рост летне-осенних расходов воды р. Самара (см. табл. 2) нельзя объяснить одним лишь отмеченным ранее (см. рис. 1) ростом количества атмосферных осадков со слоем выпадения более 20 мм в теплое время года в бассейне реки. Большой своей частью этот прирост обязан как раз перераспределению талого весеннего стока в почвенный и грунтовый сток, устойчиво питающий реку в теплое время года. Лишь с августа и в осенние месяцы роль ливневых осадков в увеличении расходов воды (на примере р. Бузулук) в последние десятилетия, по нашим оценкам, могла заметно возрасти. Рост количества ливней с 1990-х годов (см. рис. 1) потенциально мог способствовать усилению почвенной и, возможно, овражной эрозии и  $W_{взв.}$  в бассейне р. Самара. Однако, принимая во внимание тот факт, что почвозащитный коэффициент сельскохозяйственных культур в летнее время как минимум в 1.5–2.3 раза выше, чем весной, и почвы

наиболее защищены от смыва и размыва, можно предположить, что влияние возросших после 1990 г. летних ливней было несущественным, так как не каждый из них мог приводить к смыву в связи с различным проективным покрытием растительности.

Уменьшение наибольших расходов воды в половодье (см. табл. 2) потенциально могло заметно снизить и темпы горизонтальных и вер-

тикальных русловых деформаций рек бассейна и, следовательно, объемы  $W_{взв.}$  руслового происхождения, учитывая, что песчаное строение пойм здесь предопределяет достаточно интенсивные их размывы – до 13–14 м/год [26]. Снижение весенних темпов русловых деформаций могло в последние десятилетия быть частично компенсировано летне-осенним ростом паводковых расходов воды (см. табл. 2).

**Таблица 2.** Характеристика стока воды ( $Q$ ) р. Самара у с. Елшанка (Оренбургская область) за различные периоды

Характеристики	Периоды		
	1940–1967 гг.	1968–1984 гг.	1985–2010 гг.
Средний годовой $Q$ , м <sup>3</sup> /с	54.6 ± 9.1	38.9 ± 5.4	54.1 ± 6.1
Средний зимний $Q$ за 30 суток, м <sup>3</sup> /с	10.3 ± 1.3	11.2 ± 1.2	19.6 ± 1.7
Наименьший зимний $Q$ , м <sup>3</sup> /с	8.9 ± 1.1	9.9 ± 1.1	17.7 ± 1.9
Средняя дата начала половодья	4 (±3) апреля	30 (±3) марта	31 (±3) марта
Суммарный слой $Q$ за половодье, мм	51.2 ± 10.8	33.3 ± 6.4	39.8 ± 7.5
Наибольший срочный $Q$ за половодье, м <sup>3</sup> /с	1282.1 ± 364.9	579.9 ± 171.2	667.5 ± 177.9
Средняя дата наибольшего срочного $Q$ за половодье	15 (±3) апреля	15 (±3) апреля	15 (±3) апреля
Продолжительность половодья, сутки	36 ± 3	43 ± 4	44 ± 4
Интенсивность половодного стока, мм/сут.	1.47	0.78	0.94
Доля половодного $Q$ в годовом стоке, %	64.1 ± 4.0	60.2 ± 4.1	50.1 ± 5.1
Годы с долей половодного стока более 70%	1940, 1941, 1942, 1946, 1947, 1957, 1963, 1964	1970, 1971	отсутствуют
Годы с долей половодного стока менее 50%	1944, 1961, 1967	1969, 1984	1989, 1990, 1992, 1996, 1997, 2000, 2002, 2006, 2007, 2008, 2009
Средний $Q$ за период открытого русла за 30 суток, м <sup>3</sup> /с	14.8 ± 1.8	13.1 ± 1.5	22.6 ± 2.1
Средний месячный $Q$ за календарные летние месяцы, м <sup>3</sup> /с	23.0 ± 4.2	18.2 ± 3.1	32.3 ± 4.3
Наименьший $Q$ за период открытого русла, м <sup>3</sup> /с	13.1 ± 1.8	12.0 ± 1.6	20.2 ± 1.5
Средний месячный $Q$ за календарные осенние месяцы, м <sup>3</sup> /с	16.2 ± 1.9	16.1 ± 1.7	25.2 ± 2.5
Суммарный паводковый $Q$ , млн. м <sup>3</sup> /10 лет	67.54	103.29	174.32
Суммарная продолжительность паводков, сутки/10 лет	18.5	38.8	36.4

*Примечание.* Выделение трех периодов основано на анализе многолетнего хода среднего годового  $Q$  с помощью методов “Changepoint detection”, “Changepoints analysis”, выполненное с помощью алгоритма PELT [34]. Алгоритм основан на минимизации функции, которая позволяет выделить сегменты ряда, максимально отличающиеся друг от друга, и при этом не допускает выделения избыточного числа точек изменений. Поиск последних выполнен с помощью пакета “Changepoint” [35] в среде статистического анализа и программирования R [40].

Отмеченные гидроклиматические изменения происходили на фоне изменений в землепользовании и водопользовании. Так, в 1940–1967 гг. степенная связь между расходами воды и  $W_{\text{взв.}}$  являлась очень тесной ( $R^2 = 0.87$ ) (см. рис. 4), в значительной степени указывая на функционирование эрозионной системы в целом по бассейну реки в условиях устоявшегося влияния со стороны хозяйственной деятельности на водосборе и больших модулей стока воды. Отдельные аномалии стока наносов (эрозии), такие как 1943 г. (+61.5% относительно “нормального” для периода функционирования, описываемого степенной кривой связи), 1945 г. (+87.1%), 1948 г. (–47.8%) и 1949 г. (–34.1%), были обусловлены, скорее всего, гидрометеорологическими аномалиями в эти годы. О высоких, в целом, темпах почвенно-овражной эрозии в этот период говорит и высокая доля ее продуктов в общем  $W_{\text{взв.}}$ : р. Самара (с. Елшанка) – 94.7%, р. Самара (пгт. Новосергиевка) – 90.3%, р. Бузулук (д. Байгоровка) – 92.5% [16]. В 1968–1984 гг. степенная зависимость между  $Q$  и  $W_{\text{взв.}}$  была уже менее тесной ( $R^2 = 0.74$ ). Если между периодами 1940–1967 и 1968–1984 гг. средний годовой модуль  $Q$  р. Самара сократился на 29% (интенсивность половодного стока – на 47%), то средний модуль  $W_{\text{взв.}}$  – лишь на 13%, что существенно меньше ожидаемого сокращения, учитывая степенную ( $> 1$ ) связь между  $Q$  и  $W_{\text{взв.}}$  [15, 16]. На графике связи расходов воды и наносов этого периода (см. рис. 4) относительно кривой связи выделяются две группы точек. Первая из них характеризуется аномально высокими (относительно “нормального” для периода функционирования, описываемого степенной кривой связи) модулями стока наносов: 1972 г. (+83.5%), 1973 г. (+64.6%) и 1974 г. (+35.4%). За девятую пятилетку (1971–1975 гг.) капитальные вложения в сельское хозяйство Оренбургской области составили 1.4 млрд руб. Колхозы и совхозы получили 22 тыс. тракторов, около 11 тыс. комбайнов, много другой техники [5]. Увеличение тяжелой техники на полях – один из факторов, провоцирующих сильную почвенную эрозию через уплотнение и нарушение ее фильтрационных свойств и т.д. Более того, за 1970-е годы общие посевные площади в Оренбургской области увеличились с 5.9 до 6.3 млн га (почти на 7%), в том числе площадь зерновых – с 4.5 до 4.8 млн га (почти на 7%). Относительно низкие среднегодовые темпы эрозии (величины стока наносов р. Самара – 3.2 т/км<sup>2</sup>/год) в 1975 г. были связаны с общей засушливостью этого года ( $M(Q) = 0.84$  л/с/км<sup>2</sup>). Вторая группа точек с аномально низкими величинами  $W_{\text{взв.}}$  приурочена к концу 1970-х и первой половине 1980-х годов – 1979 г. (–21.3%), 1982 г. (–38.7%),

1983 г. (–35.4%), 1984 г. (–40.0%). В эти годы противоэрозионные мероприятия были применены почти на 2 млн га пашни в области [19]. В 1985–2012 гг.<sup>5</sup> интенсивность половодного стока была на 36% меньшей, чем в 1940–1967 гг., и данный период отличался самым низким  $W_{\text{взв.}}$  реки (см. рис. 4). Наряду с климатическими изменениями, одна из причин снижения темпов эрозии в эти годы (начиная с 1984–1985 гг.), по-видимому, связана со сменой землепользования в период перестройки в СССР и после его распада – изменениями в системе севооборотов (увеличением доли многолетних трав) в целом в бассейне реки, забрасыванием пашни, хотя темпы смыва в конце 1980-х годов были даже сопоставимы с предшествующим периодом. Другая причина – сооружение искусственных водоемов в долинах, в том числе крупнейшего в бассейне реки Сорочинского водохранилища (с 1997 г.).

**Заключение.** Полученные результаты отчетливо свидетельствуют о снижении интенсивности эрозии и стока взвешенных наносов в бассейне р. Самара в последние 30 лет по сравнению с 1940–1960 гг. Так, уменьшение стока взвешенных наносов рек бассейна в 2008–2012 гг. по сравнению с 1960–1970-ми годами (для р. Большой Уран – 1930-ми годами) составило, как минимум, 2.3–4.8 раза. Оно было связано, прежде всего, со снижением темпов эрозионных процессов на водосборе р. Самара, в том числе в верхних звеньях ее флювиальной сети, отражая изменения в соотношении русловой и бассейновой составляющих стока наносов [15–17]. На примере изученного малого водосбора в бассейне р. Большая Погромка, являющегося частью бассейна р. Самара, показано сокращение темпов аккумуляции эрозионных продуктов в днище его ложинно-балочной сети, как минимум, в 3.0–3.6 раза. Основной причиной существенного уменьшения темпов смыва почв в последние десятилетия выступило уменьшение стока воды со склонов в период снеготаяния, обусловленное повышением температуры воздуха и сокращением глубины промерзания почв.

Тенденция сокращения талого стока, темпов эрозии, аккумуляции ее продуктов, а также речного стока наносов прослеживается практически по всей лесостепной и степной зонам Русской равнины [1, 11, 22, 31, 32 и др.] и является, на наш взгляд, представительной для всего степного юго-востока последней.

<sup>5</sup> К сожалению, мы не располагали информацией по стоку воды и наносов с 2013 по 2016 гг. Однако, на фоне выявленного общего тренда сокращения темпов эрозии в бассейне реки на протяжении последних более чем 70 лет (с 1940 г.) эта информация вряд ли внесла бы существенные изменения в полученные в работе выводы.

**Финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект 15–17–20006), а также за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

**Благодарности.** Авторы признательны д.г.н., в.н.с. Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова В.Н. Голосову и аспиранту Казанского (Приволжского) федерального университета А.М. Гафурову за помощь в проведении полевых работ в 2016–2017 гг.

**Funding.** The study was funded by the Russian Science Foundation, project no. 15–17–20006), and also by the subsidy allocated to Kazan Federal University as part of the state program for increasing its competitiveness among the World's leading centers of science and education.

**Acknowledgments.** The authors are grateful to Dr. Sn. V.N. Golosov (Moscow State University, Russia) and PhD student A.M. Gafurov (Kazan Federal University, Russia) for their participation in fieldwork in 2016–2017.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Апухтин А.В., Кумани М.В.* Современные изменения условий формирования слоя стока весеннего половодья рек Курской области // Ученые записки: электронный науч. журнал Курского гос. ун-та. 2012. № 1. С. 300–311.
2. Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины / под ред. Ю.А. Израэля. М.: ИГКЭ Росгидромета. Роскартография, 1998. 144 с.
3. *Барабанов А.Т.* Агролесомелиорация в почвозащитном земледелии. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1993. 156 с.
4. *Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Разуваев В.Н.* Экстремальность климата на территории России / Справочная информация о погоде и климате на сайте ФГБУ “ВНИГМИ-МЦД”. URL: <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/196-extremclim>. (Дата обращения: 04.08.2017)
5. *Верт Н.* История советского государства. 1900–1991 гг. / пер. с фр. М.: Прогресс–Академия, 1992. 480 с.
6. *Габбасова И.М., Сулейманов Р.Р., Хабиров И.К., Комиссаров М.А., Фрюауф М., Либелт П., Гарипов Т.Т., Сидорова Л.В., Хазиев Ф.Х.* Изменение эродированных почв во времени в зависимости от их сельскохозяйственного использования в Южном Предуралье // Почвоведение. 2016. № 10. С. 1277–1283.
7. *Гареев А.М., Зайцев П.Н.* Основные тенденции развития русловых и эрозионных процессов под влиянием естественных и антропогенных факторов (на примере бассейнов рек Башкирского Предуралья) // Эволюция эрозионно-русловых систем, ее хозяйственно-экономические и экологические последствия, прогнозные оценки и учет (г. Уфа, 3–6 октября 2017 г.): Доклады и сообщения Всероссийской науч.-практ. конф. и XXXII межвузовского координационного совещания. Уфа: АЭТЕРНА, 2017. С. 107–110.
8. Географический атлас Оренбургской области. М.: Изд-во “ДИК”, 1999. 96 с.
9. *Голосов В.Н., Острова И.В., Силантьев А.Н., Шкуратова И.Г.* Радиоизотопный метод оценки темпов внутрибассейновой аккумуляции // Геоморфология. 1992. № 1. С. 30–36.
10. *Голосов В.Н.* Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М.: ГЕОС, 2006. 296 с.
11. *Голосов В.Н., Геннадиев А.Н., Олсон К.Р., Маркелов М.В., Жидкин А.П., Чендев Ю.Г., Ковач Р.Г.* Пространственно-временные особенности развития почвенно-эрозионных процессов в лесостепной зоне Восточно-Европейской равнины // Почвоведение. 2011. № 7. С. 861–869.
12. *Голосов В.Н., Беляев В.Р., Маркелов М.В., Шамшурина Е.Р.* Особенности перераспределения наносов на малом водосборе за различные периоды его сельскохозяйственного освоения (водосбор Грачёва лощина, Курская область) // Геоморфология. 2012. № 1. С. 25–35.
13. *Голосов В.Н., Иванова Н.Н., Гусаров А.В., Шарифуллин А.Г.* Оценка тренда деградации пахотных почв на основе изучения темпов формирования стратоземов с использованием <sup>137</sup>Cs в качестве хрономаркера // Почвоведение. 2017. № 10. С. 1238–1252.
14. Государственный водный кадастр СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1971–1975 гг. и весь период наблюдений). Т. 12. Вып. 1. Нижнее Поволжье. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 328 с.
15. *Гусаров А.В.* Оценка русловой и бассейновой составляющих эрозии и стока взвешенных наносов в речных бассейнах // Геоморфология. 2013. № 2. С. 23–39.
16. *Гусаров А.В.* Основные закономерности соотношения русловой и бассейновой составляющих эрозии и стока взвешенных наносов в речных бассейнах Северной Евразии // Геоморфология. 2015. № 4. С. 3–20.
17. *Дедков А.П., Мозжерин В.И.* Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1984. 264 с.
18. *Иванова Н.Н., Ларионов Г.А.* Динамика протяженности малых рек: факторы и количественные оценки // Причины и механизм пересыхания малых рек. Казань: ГранДан, 1996. С. 37–42.
19. История Оренбуржья. Учеб. пособие / сост. и науч. ред. Л.И. Футорянский. Оренбург: Оренбургское книжное изд-во, 1996. 351 с.
20. Климат России / ред. Н.В. Кобышева. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 655 с.
21. *Комиссаров М.А., Габбасова И.М.* Эрозия почв при снеготаянии на пологих склонах в Южном Предуралье // Почвоведение. 2014. № 6. С. 734–743.

22. Маркелов М.В., Голосов В.Н., Беляев В.Р. Изменение скорости аккумуляции наносов на поймах малых рек в центре Русской равнины // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2012. № 5. С. 70–76.
23. Панин Г.Н., Дзюба А.В. Изменения направления и скорости ветра от Арктики до Каспийского моря как проявление современных изменений климата // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 6. С. 737–753.
24. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за весь период наблюдений до 1963 г.). Т. 12. Вып. 1. Нижнее Поволжье. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 364 с.
25. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1963–1970 гг. и весь период наблюдений). Т. 12. Вып. 1. Нижнее Поволжье. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 332 с.
26. Руслевой режим рек Северной Евразии (в пределах бывшего СССР) / под ред. Р.С. Чалова. М.: Изд-во МГУ, 1994. 336 с.
27. Соболев Н.В., Габбасова И.М., Комиссаров М.А. Влияние изменения климата на эрозионные процессы в Республике Башкортостан // Аридные экосистемы. 2015. № 4. С. 22–28.
28. Топографическая карта масштаба 1:25000, номер листа V-23-29-Б-в, Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. Составлена по материалам съемки 1972 года. 18 мая 1981 года.
29. 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 России и его изменение // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 4. С. 4–20.
30. Dore M.H.I. Climate change and changes in global precipitation patterns: what do we know? // Environment International. 2005. V. 31. Iss. 8. P. 1167–1181.
31. Golosov V.N., Belyaev V.R., Markelov M.V. Application of Chernobyl-derived <sup>137</sup>Cs fallout for sediment redistribution studies: lessons from European Russia // Hydrological Processes. 2013. V. 27. № 6. P. 781–794.
32. Golosov V., Gusarov A., Litvin L., Yermolaev O., Chizhikova N., Safina G., Kiryukhina Z. Evaluation of soil erosion rates in the southern half of the Russian plain: methodology and initial results // Proc. IAHS. 2017 / Collins A., Stone M., Horowitz A., Foster I. (Eds.). ICCE Symposium 2016 – Integrating monitoring and modelling for sediment dynamics, Okehampton, UK, 11–15 July 2016. V. 375. Copernicus Publications. P. 23–27.
33. Higgitt D.I. The Development and Application of Caesium-137 Measurements in Erosion Investigation // Sediment and Water Quality in River Catchments / Foster I.D.L., Gurnell A.M., Webb B.W. (Eds.). Chichester (UK): John Wiley&Sons Ltd, 1995. P. 287–305.
34. Killick R., Fearnhead P., Eckley I.A. Optimal detection of change points with a linear computational cost // JASA. 2012. 107(500). P. 1590–1598.
35. Killick R., Eckley I.A. Changepoint: An R Package for Changepoint Analysis // J. of Statistical Software. 58 (3). 2014. P. 1–19. URL. <http://www.jstatsoft.org/v58/i03/>
36. Loughran R.J. The use of the environmental isotope caesium-137 for soil erosion and sedimentation studies // Trend in Hydrology. 1994. № 1. P. 149–167.
37. McNutt M. Climate change impacts // Science. 2013. V. 341. Iss. 6145. P. 435.
38. Parfitt R.L., Baisden W.T., Ross C.W., Rosser B.J., Schipper L.A., Barry B. Influence of erosion and deposition on carbon and nitrogen accumulation in resampled steepland soils under pasture in New Zealand // Geoderma. 2013. V. 192. № 1. P. 154–159.
39. Porto P., Walling D.E., Callegari G. Using <sup>137</sup>Cs measurements to establish catchment sediment budgets and explore scale effects // Hydrological Processes. 2011. V. 25. P. 886–900.
40. R Core Team R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2017. URL. <https://www.R-project.org/>
41. Walling D.E., Golosov V.N., Panin A.V., He Q. Use of radiocaesium to investigate erosion and sedimentation in areas with high levels of Chernobyl fallout // Tracers in Geomorphology / Foster I.D.L. (Ed.). Chichester (UK): John Wiley&Sons Ltd, 2000. P. 183–200.

## REFERENCES

1. Apukhtin A.V., Kumani M.V. Modern conditions of the surface runoff formation during the spring river floods in the Kursk region. *Uchenye Zapiski: Elektronnyi Nauchn. Zhurnal Kursskogo Gos. Univ.*, 2012, no. 1, pp. 300–311. (In Russ.).
2. *Atlas radioaktivnogo zagryazneniya Evropeiskoi chasti Rossii, Belorussii i Ukrainy* [Atlas of Radioactive Pollution of European Russia, Belarus and Ukraine]. Izrael Yu.A., Ed. Moscow: Rosgidromet, Roskartografiya Publ., 1998. 144 p.
3. Barabanov A.T. *Agrolesomeliatsiya v pochvo-zashchitnom zemledelii* [Agromelioration in Soil-Protecting Agriculture]. Volgograd: VNIALMI Publ., 1993. 156 p.
4. Bulygina O.N., Korshunova N.N., Razuvaev V.N. *Ekstremal'nost' klimata na territorii Rossii* [Climate Extremalities on the Territory of Russia]. Available at: <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/196-extremclim> (accessed 04.08.2017). (In Russ.).
5. Vert N. *Istoriya sovetskogo gosudarstva, 1900–1991 gody* [The Soviet Union History, 1900–1991]. Moscow: Progress–Akademiya Publ., 1992. 480 p.
6. Gabbasova I.M., Suleimanov R.R., Komissarov M.A., Garipov T.T., Sidorova L.V., Khaziev F.K., Khabirov I.K., Fruehauf M., Liebelt P. Temporal changes of eroded soils depending on their agricultural use in the southern Cis-Ural region. *Eurasian Soil Sci.*, 2016, no. 10 (49), pp. 1277–1283.
7. Gareyev A.M., Zaytsev P.N. The main trends in the development of channel and erosion processes under the influence of natural and anthropogenic factors (a case study of the Bashkir Cis-Ural river basins). In *Evolyutsiya erozionno-ruslovykh sistem, ee khozyaistvenno-ekonomicheskie i ekologicheskie posledstviya, prognozyne otsenki i uchet* [The Evo-

- lution of Erosion-Channel Systems, Their Economic and Environmental Consequences, Forecast Estimates and Record]. Ufa: AETERNA Publ., 2017, pp. 107–110. (In Russ.).
8. *Geograficheskii atlas Orenburgskoi oblasti* [Geographical Atlas of the Orenburg Region]. Moscow: DIK Publ., 1999. 96 p.
  9. Golosov V.N., Ostrova I.V., Silant'ev A.N., Shkuratova I.G. Radioisotope technique of assessment of the present-day deposition rate within drainage basins. *Geomorfologiya*, 1992, no. 1, pp. 30–36. (In Russ.).
  10. Golosov V.N. *Eroziionno-akkumulyativnye protsessy v rechnykh basseynakh osvoennykh ravnin* [Erosion and Deposition Processes in the River Basins of Cultivated Plains]. Moscow: GEOS Publ., 2006. 296 p.
  11. Golosov V.N., Gennadiyev A.N., Markelov M.V., Zhidkin A.P., Kovach R.G., Olson K.R., Chendev Y.G. Spatial and temporal features of soil erosion in the forest-steppe zone of the East-European Plain. *Eurasian Soil Sci.*, 2011, no. 7(44), pp. 861–869.
  12. Golosov V.N., Belyaev V.R., Markelov M.V., 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*, 2012, no. 1, pp. 25–35. (In Russ.).
  13. Golosov V.N., Ivanova N.N., Gusarov A.V., Sharifullin A.G. Assessment of the trend of degradation of arable soils on the basis of data on the rate of stratozom development obtained with the use of <sup>137</sup>Cs as a chronomarker. *Eurasian Soil Sci.*, 2017, vol. 50, no. 10, pp. 1238–1252.
  14. *Gosudarstvennyi vodnyi kadastr SSSR. Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki (za 1971–1975 gg. i ves' period nablyudenii)* [The State Water Cadastre of the USSR. The Main Hydrological Characteristics (for 1971–1975 and the Whole Period of Observations)], vol. 12(1): *Nizhneye Povolzh'e* [the Lower Volga Region]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1980. 328 p.
  15. Gusarov A.V. Riverbed and basin components of erosion and suspended sediments run off within river basins: a new method of assessment. *Geomorfologiya*, 2013, no. 2, pp. 23–39. (In Russ.).
  16. Gusarov A.V. The main regularities of the ratio between river bed and basin components of erosion and suspended sediment flux in the Northern Eurasia's river basins. *Geomorfologiya*, 2015, no. 4, pp. 3–20. (In Russ.).
  17. Dedkov A.P., Mozzherin V.I. *Erosiya i stok nanosov na Zemle* [Erosion and Sediment Yield on the Earth]. Kazan: Kazanskii Univ., 1984. 264 p.
  18. Ivanova N.N., Larionov G.A. Dynamics of small rivers extent: factors and quantitative estimates. In *Prichiny i mekhanizm peresykhaniya malykh rek* [Causes and Mechanism of Drying out of Small Rivers]. Kazan: Gran Dan Publ., 1996, pp. 37–42. (In Russ.).
  19. *Istoriya Orenburzh'ya* [History of the Orenburg Region]. Futoryanskiy L.I., Ed. Orenburg: Orenburgskoe Knizhnoye Izdatel'stvo Publ., 1996. 351 p.
  20. *Klimat Rossii* [Climate of Russia]. Kobysheva N.V., Ed. St. Petersburg: Gidrometeoizdat Publ., 2001. 655 p.
  21. Komissarov M.A., Gabbasova I.M. Snowmelt-induced soil erosion on gentle slopes in the southern Cis-Ural region. *Eurasian Soil Sci.*, 2014, no. 6 (47), pp. 734–743.
  22. Markelov M.V., Golosov V.N., Belyaev V.R. Changes in the sedimentation rates on the floodplains of small rivers in the central Russian plain. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2012, no. 5, pp. 70–76. (In Russ.).
  23. Panin G.N., Dzyuba A.V. Variations in wind direction and speed from Arctic to the Caspian Sea as a manifestation of modern climate changes. *Water Resources*, 2006, no. 6(33), pp. 737–753.
  24. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki (za ves' period nablyudenii do 1963 g.)* [Resources of Surface Waters of the USSR. The Main Hydrological Characteristics (for the Whole Period of Observations until 1963)], vol. 12(1): *Nizhneye Povolzh'e* [the Lower Volga Region]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1966. 364 p.
  25. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki (za 1963–1970 gg. i ves' period nablyudenii)* [Resources of Surface Waters of the USSR. The Main Hydrological Characteristics (for 1963–1970 and the Whole Period of Observations)], vol. 12(1): *Nizhneye Povolzh'e* [the Lower Volga Region]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1976. 332 p.
  26. *Ruslovoi rezhim rek Severnoi Evrazii (v predelakh byvshogo SSSR)* [Riverbed Regime of the North Eurasian Rivers (within the Former USSR)]. Chalov R.S., Ed. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1994. 336 p. (In Russ.).
  27. Sobol N.V., Gabbasova I.M., Komissarov M.A. Impact of climate changes on erosion processes in Republic of Bashkortostan. *Aridnye Ekosistemy*, 2015, no. 5(4), pp. 22–28.
  28. Topographical Map of scale 1:25000, sheet no. V-23-29-B. Central Administration of Geodesy and Cartography of the Cabinet of Ministers of the USSR, 1981. (In Russ.).
  29. Frolova N.L., Kireeva M.B., Agafonova S.A., Evstigneev V.M., Efremova N.A., Povalishnikova Y.S. Intra-annual distribution of the plain rivers discharge within the European Russia and its change. *Vodnoe Khozyaistvo Rossii: Problemy, Tekhnologii, Upravlenie*, 2015, no. 4, pp. 4–20. (In Russ.).
  30. Dore M.H.I. Climate change and changes in global precipitation patterns: what do we know? *Environ. Int.*, 2005, vol. 31, no. 8, pp. 1167–1181.
  31. Golosov V.N., Belyaev V.R., Markelov M.V. Application of Chernobyl-derived <sup>137</sup>Cs fallout for sediment redistribution studies: lessons from European Russia. *Hydrol. Process.*, 2013, vol. 27, no. 6, pp. 781–794.
  32. Golosov V., Gusarov A., Litvin L., Yermolaev O., Chizhikova N., Safina G., Kiryukhina Z. Evaluation of soil erosion rates in the southern half of the Russian plain: methodology and initial results. *Proc. IAHS*, 2017, vol. 375, pp. 23–27.
  33. Higgitt D.I. The development and application of caesium-137 measurements in erosion investigation. In *Sediment and Water Quality in River Catchments*, Foster I.D.L., Gurnell A.M., Webb B.W., Eds. Chichester (UK): John Wiley & Sons Ltd, 1995, pp. 287–305.
  34. Kिलlick R., Fearnhead P., Eckley I.A. Optimal detection of change points with a linear computational cost. *JASA*, 2012, no. 107(500), pp. 1590–1598.

35. Killick R., Eckley I.A. Changepoint: An Rpackage for change point analysis. *J. Stat. Softw.*, 2014, no. 58(3), pp.1–19.
36. Loughran R.J. The use of the environmental isotope caesium-137 for soil erosion and sedimentation studies. *Trendin Hydrology*, 1994, no. 1, pp. 149–167.
37. McNutt M. Climate change impacts. *Science*, 2013, vol. 341, no. 6145, 435 p.
38. Parfitt R.L., Baisden W.T., Ross C.W., Rosser B.J., Schipper L.A., Barry B. Influence of erosion and deposition on carbon and nitrogen accumulation in resampled steepland soils under pasture in New Zealand. *Geoderma*, 2013, vol. 192, no. 1, pp. 154–159.
39. Porto P., Walling D.E., Callegari G. Using <sup>137</sup>Cs measurements to establish catchment sediment budgets and explore scale effects. *Hydrol. Process.*, 2011, vol. 25, pp. 886–900.
40. R Core Team R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2017. Available at: <https://www.R-project.org/>
41. Walling D.E., Golosov V.N., Panin A.V., He Q. Use of radiocaesium to investigate erosion and sedimentation in a reas with highlevels of Chernobyl fallout. In *Tracers in Geomorphology*. Foter I.D.L., Ed. Chichester (UK): John Wiley&Sons Ltd, 2000, pp. 183–200.

## **Contemporary Erosion and Suspended Sediment Yield Within River Basins in the Steppe of the Southeastern Part of the Russian Plain: A Case Study of the Samara River Basin**

**A. V. Gusarov\* and A. G. Sharifullin**

*Kazan Federal University, Kazan, Russia*

*\*e-mail: avgusarov@mail.ru*

Received August 08, 2017; revised June 29, 2018; accepted September 21, 2018

The paper presents the results of contemporary trend assessment in general erosion intensity within the southeastern steppe sector of the Russian Plain, a case study of the Samara River (the upper reaches) basin (22,800 km<sup>2</sup>, Orenburg oblast, European part of Russia), based on the long-term studying of river suspended sediment yield dynamics. The assessment is supplemented by accumulation rates field study of the soil-rill-gully erosion products in a typical small catchment (the catchment area is 1.92 km<sup>2</sup>) of the river basin using environmental radioactive caesium-137 (incl. Chernobyl-derived <sup>137</sup>Cs) as a chronomarker. The results obtained clearly show that the Samara River's suspended sediment yield has been reduced at least twice over the last 30 years compared with 1940–1960s. The marked decreasing trend in the erosion intensity in the Samara River basin is confirmed by a decrease (by 3.0–3.6 times as a minimum) in accumulation rates of the erosion products over the past 60 years within the dry valley bottom of the studied small catchment. The main reason for such significant erosion rates reduction was a decrease in surface snowmelt runoff within the basin area since the early 1980s, associated with a reduction in a soil freezing depth and a general increase in air temperature during spring months.

**Keywords:** soil erosion, water flow, suspended sediment yield, sedimentation, caesium-137, catchment, dry valley, climate change, soil freezing, steppe.