

## Экологическая и прикладная геоморфология

УДК 551.4.02:551.435.17 (470.51)

© 2019 г. А.В. ГУСАРОВ<sup>1, \*</sup>, И.И. РЫСИН<sup>2</sup>, А.Г. ШАРИФУЛЛИН<sup>1</sup>,  
В.Н. ГОЛОСОВ<sup>1, 3, 4</sup>ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО ТРЕНДА ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ  
ПРОЦЕССОВ В МАЛОМ РАСПАХАННОМ ВОДОСБОРЕ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦЕЗИЯ-137 В КАЧЕСТВЕ ХРОНОМАРКЕРА  
(ЮГ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ)<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия<sup>2</sup> Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
географический факультет, Москва, Россия<sup>4</sup> Институт географии РАН, Москва, Россия

\*E-mail: avgusarov@mail.ru

Поступила в редакцию 10.05.2017

После доработки 14.10.2017

Принята к печати 18.12.2018

Статья посвящена выявлению и оценке современного тренда интенсивности склонового смыва на пашне юга лесной зоны Европейской территории России на основе изучения темпов аккумуляции в днище долины малого водосбора (0.68 км<sup>2</sup>) с почти полностью распаханными склонами, расположенного в бассейне р. Иж на юге Удмуртской Республики (зона смешанных лесов). Радиоактивный изотоп цезия-137 глобального и чернобыльского происхождения использован для датировки вскрытых тремя разрезами отложений в днище долины за два временных интервала: 1954(1963)–1986 гг. и 1986–2016 гг. Для анализа причин изменения темпов перераспределения наносов использованы данные морфолого-морфометрического анализа долины, результаты многолетних наблюдений за приростом вершин оврагов в окрестностях водосбора, гидрометеорологические наблюдения сети Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, разновременные аэро- и космические снимки. Установлено, что если в период 1954–1986 гг. средние темпы аккумуляции в днище долины смытого с водосбора почвенного материала составляли минимум 1.8–2.5 см/год, то в период 1986–2016 гг. — 0.15–0.75 см/год, т.е. сократились как минимум в 2.5–3 раза. Эта тенденция хорошо согласуется со снижением темпов прироста вершин агрогенных оврагов в Удмуртии за последние 40 лет: с 1.3 м/год в 1978–1997 гг. до 0.3 м/год в 1998–2014 гг. Ведущей причиной столь существенного уменьшения темпов почвенно-овражной эрозии в последние десятилетия рассматривается увеличение почвозащитного коэффициента севооборотов, что связано с ростом доли в них посевов многолетних трав с конца 1980-х гг. Весомый вклад в снижение темпов перераспределения наносов внесло также уменьшение талого склонового стока на водосборе, особенно значительное с начала 2000-х гг., которое было связано с сокращением глубины промерзания почв на фоне общего повышения температур воздуха в зимне-весенние месяцы в регионе.

**Ключевые слова:** эрозия, наносы, цезий-137, балка, овраг, водосбор, изменения климата, промерзание почвы, талый сток, изменения землепользования, лесная зона, Русская равнина.

<https://doi.org/10.31857/S0435-42812019237-56>

ASSESSMENT OF CONTEMPORARY EROSION/SEDIMENTATION RATES  
TREND WITHIN A SMALL CULTIVATED CATCHMENT USING  
THE RADIOCAESIUM-137 AS A CHRONOMARKER  
(A CASE STUDY FROM THE UDMURT REPUBLIC, EUROPEAN RUSSIA)

A.V. GUSAROV<sup>1,\*</sup>, I.I. RYSIN<sup>2</sup>, A.G. SHARIFULLIN<sup>1</sup>, V.N. GOLOSOV<sup>1,3,4</sup>

<sup>1</sup> Kazan Federal University, Kazan, Russia

<sup>2</sup> Udmurt State University, Izhevsk, Russia

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

<sup>4</sup> Institute of Geography RAS, Moscow, Russia

\*E-mail: avgusarov@mail.ru

Received 10.05.2017

Revised 14.10.2017

Accepted 18.12.2018

S u m m a r y

This paper is devoted to revealing and estimating the contemporary soil erosion rates trend within arable lands in the south of the forest zone of European Russia, based on the study of sedimentation rates at a small dry valley bottom with almost completely cultivated catchment slopes. The dry valley catchment (0.68 km<sup>2</sup>) is located in the south part of the Udmurt Republic (the mixed forests zone) within the Izh River basin. The bomb-derived and Chernobyl-derived radiocaesium-137 was used for dating valley bottom sediments in two time intervals: 1954(1963)–1986 and 1986–2016. To analyze the causes of change in sediment redistribution rates, morphological and morphometric analyzes of the valley, the results of year-to-year observations for gully heads retreat in the catchment vicinities, hydrometeorological observations of the Russian Hydrometeorological Survey network, and also aero- and satellite images across years were used. There was a noticeable decrease in the sedimentation rates of washed-out soil material from the catchment slopes at the valley bottom over the past 60 years: from 1.8–2.5 cm/year during 1954–1986 to 0.15–0.75 cm/year for 1986–2016. Hence, the sedimentation rates have decreased by 2.5–3 times as a minimum. This trend is consistent with a decline of the average retreat rates of gully headcuts within cultivated lands in the Udmurt Republic over the past 40 years — from 1.3 m/year in 1978–1997 to 0.3 m/year in 1998–2014. We suppose that the main reason for such significant reduction of erosion rates was a increase in protective crop coefficient associated with a increase in the proportion of perennial grasses since the late 1980s. Additional contribution to the erosion reduction was owing to a decrease in surface snowmelt water runoff within the catchment area since the early 2000s, associated with the reduction in soil freezing depth and general increase in air temperature during the winter and spring months in this region of the Russian Plain.

**Keywords:** erosion, sediment, caesium-137, dry valley, gully, catchment, climate change, soil freezing, snow-melt runoff, land use changes, forest zone, Russian Plain.

Введение

Последние 30–35 лет характеризуются существенными климатическими изменениями [1, 2], повлиявшими на темпы эрозии и аккумуляции в пределах Европейской территории России (ЕТР) [3, 4]. В этот же период произошли значимые изменения в системе землепользования, особенно сильно затронувшие юг лесной зоны, где в разных регионах площади пашни сократились на 20% и более [4]. По материалам Федеральной службы государственной статистики (<http://www.gks.ru>), на оставшихся пахотных землях существенно возросла доля многолетних трав в севооборотах.

Согласно расчетам по эрозионным моделям, в совокупности темпы смыва в лесной зоне сократились в среднем практически вдвое [4]. Тем не менее, результатов полевых исследований, подтверждающих наличие отмеченного тренда, за последние десятилетия для лесной зоны ЕТР до настоящего времени практически не было.

Анализ аккумулярованных наносов в нераспахиваемых днищах малых эрозионных форм (лога, ложбины, балки, суходолы и пр.) позволяет дать достаточно надежную количественную оценку общей интенсивности и временной изменчивости эрозионных процессов, происходящих в пределах их водосборов [5, 6]. Такой подход наиболее эффективен при изучении хорошо освоенных (с площадью пашни более 75%) малых водосборов, где исследование темпов седиментации совместно с морфолого-морфометрическим анализом дает возможность выявить наиболее эродируемые участки водосборных склонов, которые являются основным источником наносов в днищах малых долин. Помимо фундаментально-научного значения, результаты этих работ имеют и прикладную ценность: они могут быть использованы для разработки эффективных противоэрозионных мероприятий на обрабатываемых землях и рекомендаций по оптимизации природопользования в границах малых водосборов, водопользования малых рек.

В настоящее время одним из наиболее широко применяемых методов оценки современных скоростей накопления почвенно-грунтовых масс, сносимых в процессе эрозии со склонов в различных регионах Земли, является использование в качестве хронологического маркера искусственного изотопа цезия-137 (далее —  $^{137}\text{Cs}$ ) [7–12 и др.], который появился в окружающей среде с началом (с 1954 г.) проведения испытаний ядерного оружия в открытой атмосфере. Выделяют  $^{137}\text{Cs}$  глобального происхождения, выпавший на планете (прежде всего, в Северном полушарии) с начала периода проведения ядерных взрывов с пиком максимального выпадения в 1963 г. Второй, меньший пик глобальных выпадений, был отмечен в 1959 г., причем на севере ЕТР он пришелся на 1958 г. (рис. 1), что связано, скорее всего, с географической близостью к полигону наиболее многочисленных и активных ядерно-бомбовых испытаний на архипелаге Новая Земля. Наряду с этими двумя глобальными (“бомбовыми”) пиками выделяют пик  $^{137}\text{Cs}$  чернобыльского (авария на Чернобыльской АЭС 1986 г.) происхождения, ареал выпадения которого (в апреле-мае 1986 г.) располагается преимущественно в Восточной, Центральной и Северной Европе [15]. Наличие указанных маркирующих  $^{137}\text{Cs}$ -горизонтов в толще аккумулярованных наносов при условии хорошей выраженности предоставляет возможность их датировки для трех временных интервалов — 1958(1959)–1963 гг., 1963–1986 гг. и с 1986/1987 гг. и до момента отбора проб и, следовательно, дифференцировать наносы по темпам седиментации для выявления общего тренда почвенно-овражной эрозии в пределах того или иного водосбора.

Целью данного исследования является установление современного (с конца 1950-х гг.) тренда эрозионно-аккумулятивных процессов на юге лесной зоны восточной части ЕТР на примере типичного малого распаханного водосбора, расположенного на юге Удмуртской Республики.

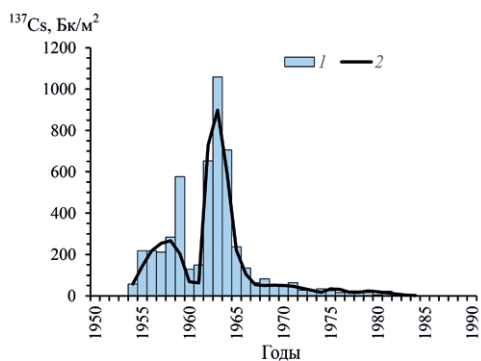


Рис. 1. Многолетняя изменчивость годового выпадения глобального (“бомбового”)  $^{137}\text{Cs}$  в Северном полушарии Земли (1, по обобщенным данным [13]) и в Ленинградской области бывшего СССР (2, по [14])

## Объект исследования

Малый водосбор расположен в бассейне р. Агрызка (правый приток р. Иж,  $F = 138 \text{ км}^2$ ) в 700 м к северо-востоку от северной окраины д. Курегово (Малопургинский район Удмуртской Республики) и в 35 км к юго-западу от центра г. Ижевск (рис. 2).

Длина днища малой долины (далее — Куреговская балка) на анализируемом участке составляет около 390 м, площадь водосбора —  $0.68 \text{ км}^2$ , собственно самой балочной формы —  $0.04 \text{ км}^2$ , днища главной балки —  $0.006 \text{ км}^2$ ; средняя ширина днища, расширяющегося от верховьев по направлению к низовьям, составляет 17 м (рис. 3). Средняя высота водосбора — 167 м (по данным топографической карты масштаба 1:50 000), размах высот рельефа — 76 м. Бровка долины в полевых условиях местами выделяется достаточно сложно. В днище балки отмечаются несколько эрозионных врезов, размеры которых увеличиваются вниз по течению (рис. 3). В своей нижней части балка прорезана крупным донным оврагом, продолжающим ныне свое развитие. Также в днище малой долины на участке, расположенном непосредственно выше по течению от уступа вершины донного оврага, имеется несколько суффозионных воронок, свидетельствующих о развитии здесь процессов тоннельной эрозии. Весь водосбор, за исключением днища и значительной части бортов долины, распахан, причем у правого борта край пашни близко подходит к балочному днищу (рис. 3).

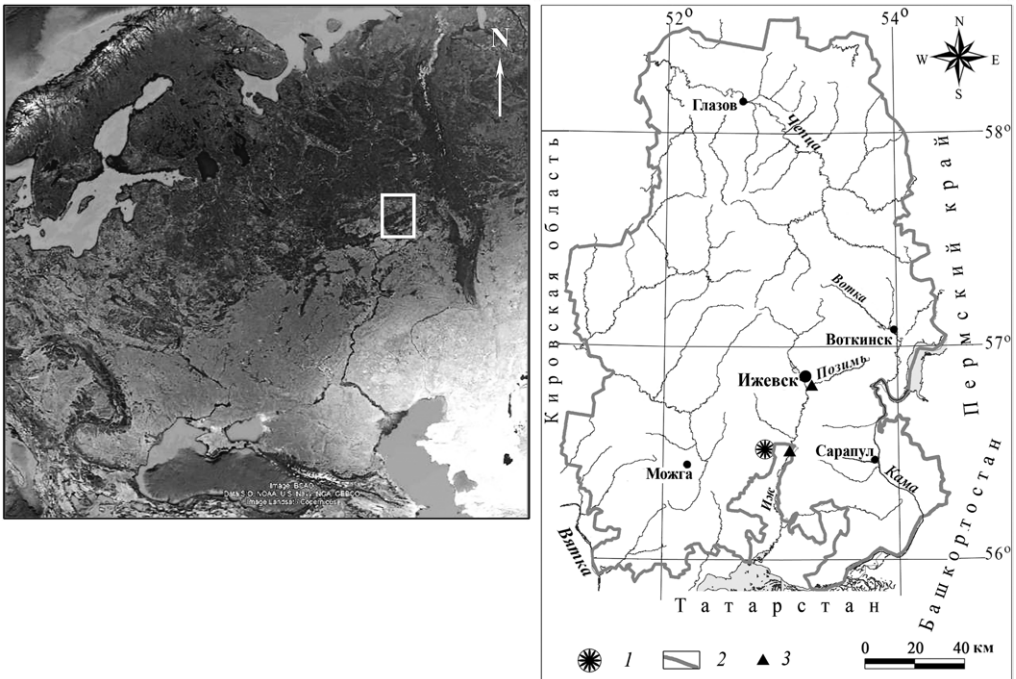


Рис. 2. Положение изученного малого водосбора в Удмуртской Республике  
1 — малый водосбор Куреговской балки, 2 — граница республики, 3 — анализируемые гидрологические посты на рр. Иж и Позимь.

На снимке положение Удмуртской Республики показано белым прямоугольником

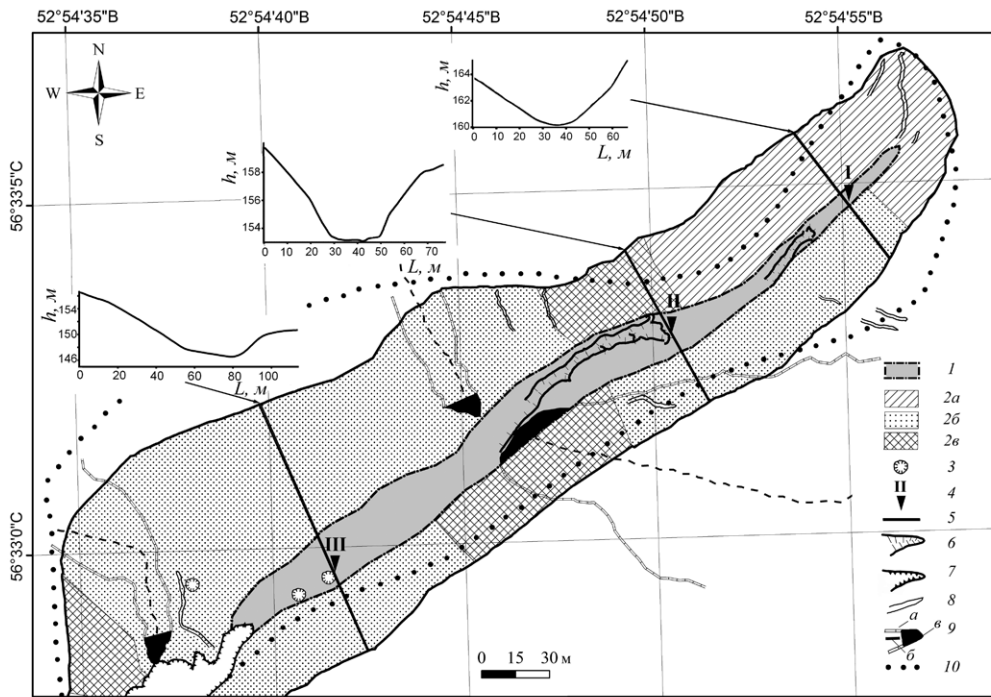


Рис. 3. Карта изученного участка Курговской балки, Удмуртская Республика  
 1 — днище балки; склоны: 2а — относительно пологие (менее 6°), 2б — средней крутизны (6–15°), 2в — относительно крутые (более 15°); 3 — суффозионные воронки; 4 — положение почвенного разреза и его номер; 5 — линия поперечного профиля; 6 — молодые эрозионные врезы в днище балки; 7 — донный овраг № 9 (см. рис. 5); 8 — молодые промоины на склонах; 9 — склоновые ложбины (а — бровка, б — тальвег, в — конус выноса); 10 — край распахиваемого поля.  
 На поперечных профилях:  $h$  — абс. высота,  $L$  — ширина

### Физико-географические условия на водосборе

**Рельеф и геологическое строение.** Исследуемая территория представляет собой холмистый тип междуречий, расположенных в пределах эоплейстоценового педимента (т. н. “нижнее плато”), расчлененного достаточно густой долинной и овражно-балочной сетью, в Нижнекамской зоне линейных дислокаций Татарского свода Русской платформы, и с поверхности слагается отложениями казанского яруса пермской системы. Разрез представлен ритмически построенной красноцветной толщей конгломератов, песчаников, алевролитов, глин, мергелей и известняков (белебеевская свита). Большая часть склонов междуречий юга Удмуртии сложена маломощными элювиально-делювиальными и делювиально-солифлюкционными суглинками желто-бурых и коричневых тонов с включением гравия, гальки и щебня из подстилающих коренных пород [16]. На пологих бортах речных долин, особенно в их нижних частях, мощность делювиально-солифлюкционных суглинков возрастает до 10–15 м и более. Вследствие длительных процессов выветривания и переотложения этих пород отмечается вымывание из них  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ , поэтому почвообразующие суглинки отличаются здесь бескарбонатностью.

**Климат** региона умеренно-континентальный. По данным ближайшей метеостанции (г. Ижевск), среднегодовая (за 1958–2016 гг.) температура атмосферного

воздуха составила  $2.8 \pm 0.3$  °C с тенденцией ее повышения за последние 60 лет: 1958–1986 гг. —  $2.4 \pm 0.4$  °C, 1987–2016 гг. —  $3.1 \pm 0.3$  °C. С 1930-х гг. наблюдается слабо-выраженный рост среднемесячной температуры апреля — месяца наиболее активного снеготаяния в регионе: 1933–1971 гг. —  $3.1 \pm 0.7$  °C, 1972–2016 гг. —  $3.7 \pm 0.8$  °C. Среднегодовое количество осадков (за 1958–2016 гг.) составило  $522.3 \pm 21.7$  мм, причем за теплое время (апрель–октябрь) выпадало  $346.7 \pm 20.5$  мм (66.4%), а за холодное (декабрь–март) —  $175.6 \pm 13.5$  мм (33.6%). Среднемесячные суммы осадков имеют хорошо выраженный годовой ход с минимумом в марте и максимумом в июле. За последние 60 лет также отмечался общий рост количества осадков в теплый период года (на большинстве метеостанций Удмуртии, причем наиболее активный их рост происходил с середины 1970-х и до конца 1980-х гг. [17]): 1958–1986 гг. —  $330 \pm 32$  мм/год, 1987–2016 гг. —  $362 \pm 26$  мм/год ( $\Delta = +9.7\%$ ). Холодный период в южной части республики отличался наличием волнового характера долгопериодных изменений количества осадков. С 1960-х гг. и до середины 1980-х гг. происходило достаточно резкое уменьшение сумм осадков, сменявшееся далее, как правило, их постепенным ростом: 1958–1986 гг. —  $195 \pm 21$  мм/год, 1987–2016 гг. —  $158 \pm 15$  мм/год ( $\Delta = -19.0\%$ ).

*Почвенный покров, ландшафты.* Почвы склонов исследуемого водосбора — дерново-подзолистые тяжелосуглинистые среднесмытые, а также светло-серые лесные среднесуглинистые слабосмытые (часть водосбора около 4.3 га, примыкающая вплотную к вершине Куреговской балки), сформированные на делювиальных суглинках и бескарбонатных глинах. Водосбор располагается в зоне смешанных хвойно-широколиственных лесов умеренного климатического пояса Евразии. Его сохранность превышает 90%.

## Методы исследования

Во время полевых работ в июне 2016 г. была проведена съемка долины водосбора электронным цифровым тахеометром, по результатам которой составлена карта (рис. 3). Детальному обследованию подверглась часть днища балки, расположенная непосредственно выше по течению от вершины донного оврага, и выбраны места заложения трех почвенных (стратоземы) разрезов, каждый из которых характеризует различный по степени транзитности участок балочного днища. Все разрезы были детально описаны с выделением аккумулятивных горизонтов на основе различий их окраски, гранулометрического состава и структуры. В разрезах с фиксированной площади  $15 \times 15$  см послыжно отбирались образцы почвы для определения в них концентрации изотопа  $^{137}\text{Cs}$  по следующей схеме: до глубины 0.72 м (разрез I и II) или 0.81 см (разрез III) — по слоям в 3 см, для больших глубин — в 5 см.

Анализ послыжно-отобранных из разрезов образцов проводился в Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева (Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, ответственный исполнитель — к.г.н., м.н.с. М.М. Иванов), где их взвешивали, высушивали, размалывали и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм. Далее в подготовленных для анализа пробах измеряли удельную концентрацию  $^{137}\text{Cs}$  на коаксиальном германиевом гамма-спектрометре с погрешностью 5–10%. Для каждого разреза была построена эпюра вертикального распределения концентрации  $^{137}\text{Cs}$ .

С 1978 г. по настоящее время, используя метод реперов, нами ведется ежегодный мониторинг за линейным приростом вершины донного оврага в днище исследуемой балки (рис. 3), а также ряда других донных, вершинных и береговых оврагов, расположенных в непосредственной близости от исследуемого водосбора. Также ежегодно, начиная с 2000 г., проводится тахеометрическая съемка привершинного

участка донного оврага в исследуемой малой долине, позволяющая оценивать его площадной прирост.

Дополнительно были собраны и проанализированы материалы режимных наблюдений по месячному и межгодовому распределению температуры воздуха и количества атмосферных осадков (1958–2016 гг.), числа дождевых событий со слоями выпадения осадков менее 10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–50 и более 50 мм (1966–2016 гг.), запасов воды в снеге (1966–2015 гг.) и глубины промерзания почвы (1978–2014 гг.) по метеорологическим станциям в гг. Ижевск и Можга (материалы свободного электронного доступа Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации — Мировой центр данных, ВНИИГМИ–МЦД), а также по многолетним месячным расходам воды рр. Иж и Позимь, гидрологические посты на которых — ближайšie к изученному водосбору (рис. 2). С целью выявления возможных изменений площади пашни и структуры посевов на водосборе, а также линейного прироста вершины донного оврага до начала полевых мониторинговых наблюдений (1978 г.) собраны и проанализированы доступные аэро- и космические снимки за период с 1959 г.

### Результаты исследования

Основные закономерности в накоплении наносов в днище изученной малой долины в обобщенном виде заключаются в следующем:

1. Во вскрытой почвенными разрезами толще современных наносов днища Куреговской балки отчетливо выделяется лишь один пик концентрации  $^{137}\text{Cs}$ , который надежно датируется нами 1986 г. (рис. 4). Это позволяет расчленить вскрытую толщу рассматриваемых отложений на две разновременные пачки, сформированные, соответственно, до и после этого года. В наносах разреза III можно выделить также остатки пика, который, вероятно, относится к 1963 г. (на глубине 33–36 см). Он указывает на положение поверхности донных отложений на данном участке днища в момент максимальных выпадений  $^{137}\text{Cs}$  глобального происхождения. Вероятно, в разрезах I и II пик  $^{137}\text{Cs}$  1963 г. был почти полностью размыв в связи с регрессивным отступанием небольших донных эрозионных врезов, которые в целом характерны для данной долины. Тем не менее, большая часть толщи наносов, за исключением двух-трех прослоев с отсутствием  $^{137}\text{Cs}$ , содержит радиоактивный изотоп и, следовательно, даже с учетом вероятной вертикальной миграции  $^{137}\text{Cs}$  [10, 13] может быть надежно отнесена к периоду 1954–1986 гг. При этом следует учитывать, что горизонт наносов, который датируется именно 1954 г., не может быть точно определен по трем причинам: во-первых, по сравнению с более поздними выпадениями содержание в нем  $^{137}\text{Cs}$  было очень мало; во-вторых, учитываемая период полураспада  $^{137}\text{Cs}$  в 30.2 года и время с момента его выпадения (более 60 лет), современная концентрация в наносах данного изотопа, датированного этим годом, будет крайне малой; в-третьих, в силу процессов биотурбации почвенного материала.
2. Во всех почвенных разрезах толща наносов, сформированная в период 1954(?)–1986 г. (нижняя пачка), превосходит (как минимум в 2.4 (разрез I)–16.5 (разрез III) раз) по мощности вышележащую толщу наносов, накопившуюся в 1986–2016 гг. (верхняя пачка). Причем чем ниже по направлению к устью малой долины расположен разрез, тем большие различия в мощностях рассматриваемых пачек наносов прослеживаются (рис. 4). Данная закономерность, о чем будет сказано ниже, отражает принципиальные изменения в объемах наносов, сносимых со склонов водосбора и транспортируемых по днищу, и указывает на сокращение темпов смыва с пашни в период после 1986 г. Но при этом следует учитывать и морфологические особенности днища долины. Разрез I расположен в ее

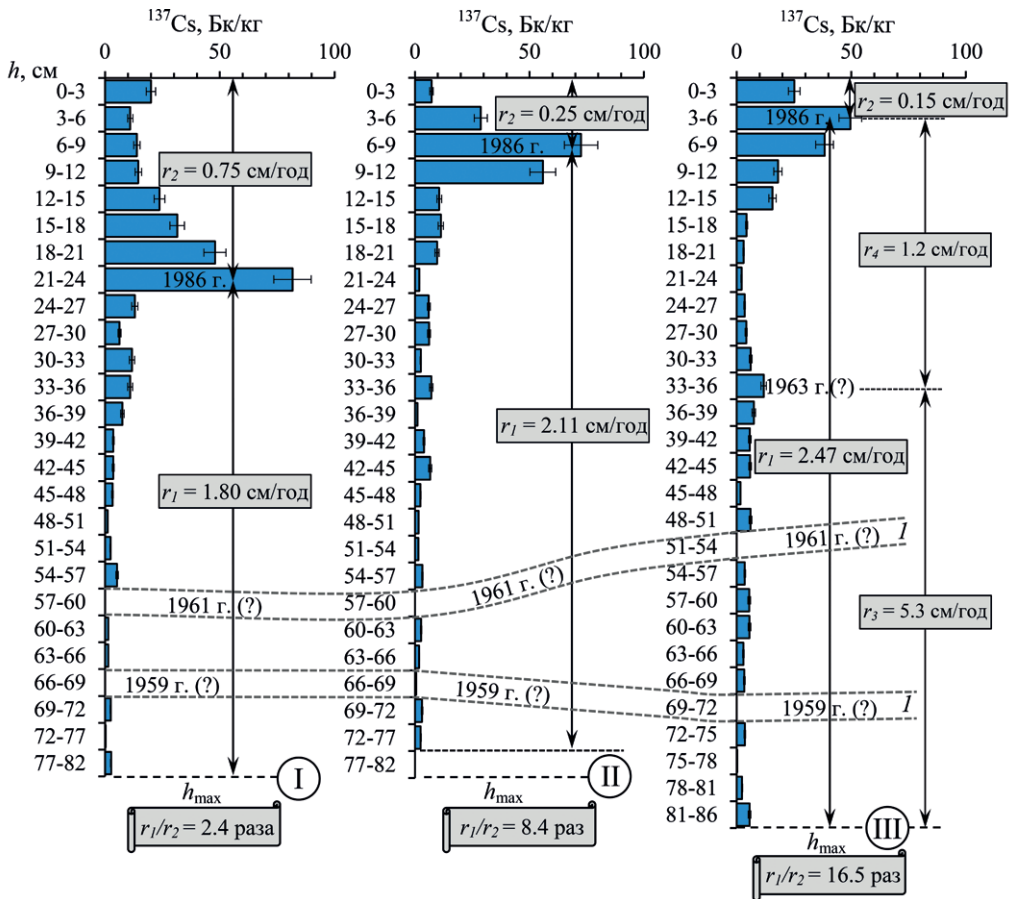


Рис. 4. Распределение концентрации радиоиотопа  $^{137}\text{Cs}$  по глубине ( $h$ ) в почвенных (стратоземы) разрезах I, II и III (см. рис. 3) дна изученного участка Куреговской балки, Удмуртская Республика

1963 г. /1986 г. — положение (для 1963 г. — предполагаемое) поверхности дна балки на момент пикового выпадения изотопа  $^{137}\text{Cs}$  глобального/чернобыльского происхождения;  $r_1$  и  $r_2$  — средние темпы аккумуляции наносов за 1954(?)–1986 гг. и 1986–2016 гг. соответственно (в разрезе III:  $r_3$  — за 1954(?)–1963 гг.,  $r_4$  — за 1963–1986 гг.);  $h_{\max}$  — максимальная глубина отбора образцов на содержание  $^{137}\text{Cs}$ ; I — прослой (?) наносов, лишенные  $^{137}\text{Cs}$  и сформированные при экстремальном стоке предположительно в 1959 г. и 1961 г. за счет размыва почвогрунтов в форме относительно глубоких промоин на бортах долины (см. рис. 3).

верховьях, где ширина дна относительно невелика (до 8–10 м), но при этом оно имеет наибольший уклон. Поэтому здесь при большем стоке воды (на единицу площади) транспортируется и большее количество наносов. По мере движения вниз по течению ширина дна возрастает, и за счет расплывания потока происходит увеличение доли переоткладывающихся наносов и, напротив, сокращение транзитных. При формировании мощного стока воды шел активный рост донных врезов, увеличивающихся в размерах вниз по течению. Наносы, формирующиеся при регрессивном отступании вторичных врезов, переоткладываются на относительно небольшом расстоянии от места размыва из-за перенасыщения наносами временных водотоков [18].



3. Отложения 1954–1986 гг., судя по наличию в них прослоев, лишенных  $^{137}\text{Cs}$ , формировались при значительном стоке воды, который приводил, в том числе, к сильным линейным размывам (промоины) бортов малой долины. Материал, выносившийся в днище долины из этих врезов глубиной порядка 1 м и более, был лишен  $^{137}\text{Cs}$ . Такие врезы сохранились на бортах и в верховьях днища балки (рис. 3), но в настоящее время они полностью задернованы. Более вероятно, что они формировались в период до 1963 г., т.к. располагаются в разрезе III ниже размытого (?) пика  $^{137}\text{Cs}$  1963 г. Прослой с отсутствием  $^{137}\text{Cs}$  на глубинах 54–60 см и 69–72 см, как мы предполагаем, могли быть связаны с формированием мощного стока при выпадении экстремальных осадков в 1959 и 1961 гг. (рис. 4). Так, помимо того, что зима 1960–1961 гг. была достаточно многоснежной, в апреле 1961 г., когда почва была не защищена растительностью от размыва, выпало аномально высокое месячное количество атмосферных осадков — 90 мм (для сравнения: в апреле 1959 г. — 31.7 мм, 1960 г. — 14.5 мм, 1962 г. — 25 мм). Дождевые осадки в теплое время 1961 г. и 1959 г. были также аномально высоки — 391.4 и 390.9 мм соответственно (для сравнения, в 1960 г. — 201.8 мм). Мы не исключаем, что многие ныне заросшие промоины на бортах долины и эрозионные размывы в ее днище (см. рис. 3) могут быть следствием, в том числе, именно этих экстремальных метеорологических событий. Следовательно, указанное выше соотношение мощностей разновременных пачек наносов, учитывая потенциальный переувлажнение нижней пачки, могло быть еще большим, чем имеется по факту. Более того, отсутствие выраженных пиков глобального выпадения  $^{137}\text{Cs}$  и наличие слоев с продуктами глубоких размывов-промоин в наносах 1954(?)–1986 гг. прямо указывает на то, что поверхностный сток воды был в этот период (особенно в 1950–1960-е гг.), в целом, более активным, чем в период 1986–2016 гг. (рис. 4).
4. Отмечаются две разнонаправленные тенденции изменения мощностей верхней и нижней пачек наносов: мощность наносов 1954(?)–1986 гг. постепенно возрастает от верхнего почвенного разреза (I) к нижнему (III) — как минимум от 60 см до 82 см (в 1.4 раза); мощность же наносов 1986–2016 гг. сокращается в том же направлении — от 23–24 см до 4–5 см (примерно в 5 раз) (рис. 4).

### Обсуждение результатов

Полученные данные указывают на очевидное снижение интенсивности эрозионных процессов на водосборе Куреговской балки в последние 30 лет. Если судить по верхнему почвенному разрезу (разрез I, рис. 4), то темпы смыва на пашне после 1986 г. уменьшились как минимум в 2.5 раза по сравнению с периодом 1954(?)–1986 гг. Вместе с этим в районе исследования отмечается также снижение скоростей линейного роста оврагов. Так, по всем агрогенным оврагам Удмуртии, за линейным ростом вершин которых ведется мониторинг с 1978 г., отмечалось сокращение темпов прироста, начиная с 1990-х гг.: если в период 1978–1997 гг. эта величина составляла около 1.3 м/год, то в период 1998–2014 гг. — лишь около 0.3 м/год, т.е. сократилась почти в четыре раза [19, 20]. Существенное сокращение скоростей прироста вершин мы отмечаем, в частности, и у оврагов, расположенных в непосредственной близости от Куреговской балки (рис. 5). Это направленное сокращение общей эрозионной активности происходило на фоне экстремальных проявлений метеорологических событий (в том числе ливней), способствовавших в разные годы и экстремальным проявлениям, к примеру, скоростей овражной эрозии (рис. 5). Заметим здесь, что экстремальный прирост вершин оврагов мог быть частично связан с геоморфологическими особенностями поверхностей, где они развиваются. Так, овраг (№ 9) в днище долины исследованного нами водосбора (рис. 3) в 2001 и 2003 гг. имел

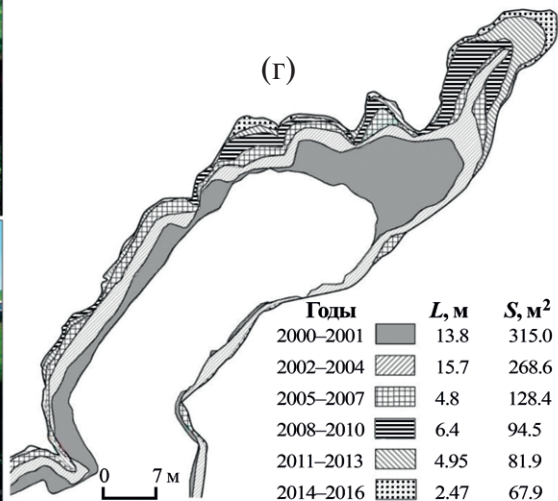
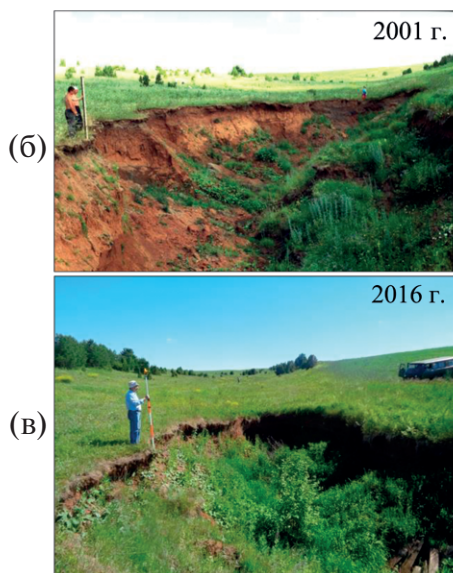
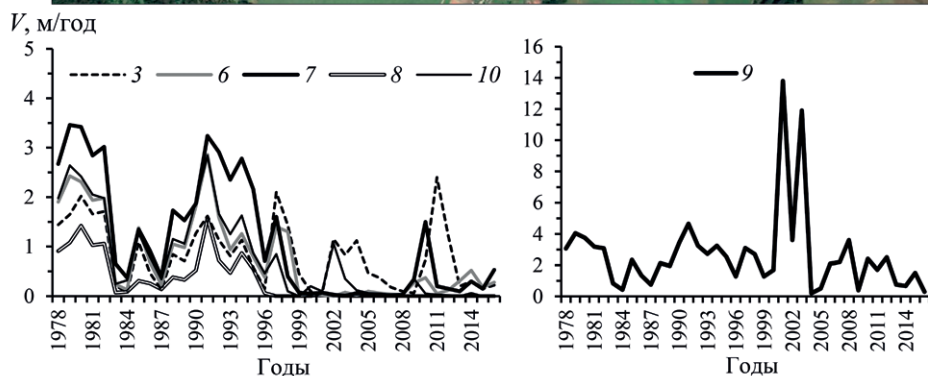


Рис. 5. Многолетняя изменчивость скоростей прироста вершин некоторых оврагов ( $V$ ) в районе исследования: (а), (б) и (в) — виды на вершину оврага № 9, расположенного в днище Куреговской балки, в разные годы; (г) — схема линейного ( $L$ ) и площадного ( $S$ ) прироста верховья оврага № 9. 1, 2, 3 ... 10 — современное положение вершин изученных оврагов; К — д. Курегово; пунктирная белая линия на снимке — контур водосбора изученного участка Куреговской балки

аномально высокие (в 3–6 раз выше, чем в предшествующие и последующие годы) темпы прироста вершины (рис. 5), что в немалой степени могло быть связано с размывом и последующим обрушением тоннелей, возникших благодаря развитию процессов суффозии в днище долины непосредственно выше по течению от его вершины (рис. 3). Судя по конфигурации контура площадного прироста этого оврага (рис. 5г), такой сценарий вполне мог иметь место весной 2001 г. при значительном талом стоке. Этот эффект потенциально мог быть усилен метелевым переносом снега в днище долины на момент начала снеготаяния в эти годы.

В тоже время, если сопоставить суммарный прирост донного оврага в исследуемой балке (овраг № 9, рис. 5) за 1959–1986 гг. и 1987–2016 гг., то он составил 154 м и 86 м соответственно. Следовательно, темпы его линейного вершинного прироста до 1986 г. были в среднем около 5.5 м/год (1959–1977 гг. — 7.0 м/год, 1978–1986 гг. — 2.5 м/год), тогда как после 1986 г. они снизились в среднем примерно до 2.8 м/год (без учета отмеченных ранее аномалий прироста вершины оврага в 2001 и 2003 гг. — до 2.0 м/год). Частично сокращение темпов прироста было обусловлено одновременным уменьшением площади водосбора, с которого поступает сток воды в вершину донного оврага по мере ее регрессивного отступления вверх по днищу малой долины.

Очевидно, что к отмеченным изменениям интенсивности эрозионных процессов могли потенциально привести как смена гидрометеорологических условий, так и изменения в землепользовании в постсоветский период в Удмуртии.

*Изменения гидрометеорологических условий.* На фоне общего повышения среднегодовой температуры воздуха в регионе, в том числе и в весенние месяцы, с 1960-х гг. отмечается тенденция увеличения запасов воды в снежном покрове (на 20–27%) на период снеготаяния (рис. 6) при росте зимних осадков с середины 1980-х гг. Это потенциально (при прочих равных условиях) могло способствовать росту поверхностного стока и усилению темпов почвенной и овражной эрозии. В это же время в данный период наблюдался более выраженный тренд уменьшения глубины промерзания почвенного покрова, который мог способствовать активному переводу талых поверхностных вод в подземный (внутрипочвенный и грунтовый) сток, тем самым потенциально сильно сокращая темпы эрозии. Однако, несмотря на этот тренд, среднее значение глубины промерзания почв в период 1986–2014 гг. было около 75 см, причем из 29 лет указанного периода около 80% всех весен имели глубину промерзания более 51 см (на конец марта) — пороговой величины, выше которой фильтрация талой воды в почвогрунты все еще крайне затруднительна; при этом в шести годах периода промерзание почвы было и вовсе более 100 см, что полностью предотвращает в этих условиях фильтрацию талой воды. И лишь трижды — в 1999, 2004 и 2011 гг. — промерзание почвы в конце марта было менее 30 см, что существенно снижало в апреле коэффициент поверхностного стока со склонов. Анализ среднемесячных расходов воды в период снеготаяния на р. Иж и ее притоке р. Позимь позволяет сделать вывод о том, что максимальный весенний сток отмечался в 1950-е гг. и начале 1960-х гг., а потом он постепенно снижался вплоть до середины 1980-х гг. (рис. 7). Если более высокий весенний сток воды в реке в этот период был связан именно с поверхностным талым стоком, что допустимо, учитывая устойчивое глубокое промерзание почвы в этот период, то можно предположить и относительно более высокие темпы талого смыва в 1950–1960-е гг. Это хорошо согласуется с распределением изотопа  $^{137}\text{Cs}$  в разрезе III, где бóльшая часть наносов “цезиевого периода” отложилась до глубины 33–36 см, с которой предположительно связан пик глобального выпадения радионуклида в 1963 г. (рис. 4). Предполагаемый размыв почвы поверхности днища долины, который, собственно, и мог привести к исчезновению пика  $^{137}\text{Cs}$ , относящегося к 1963 г., может частично объясняться разреженностью травянистого покрова, обусловленной, в свою очередь, высокой нагрузкой на пастбища в этот период в связи с ограниченностью мест для выпаса при значительно большем (по сравнению с настоящим временем) поголовье домашних животных в д. Курегово.

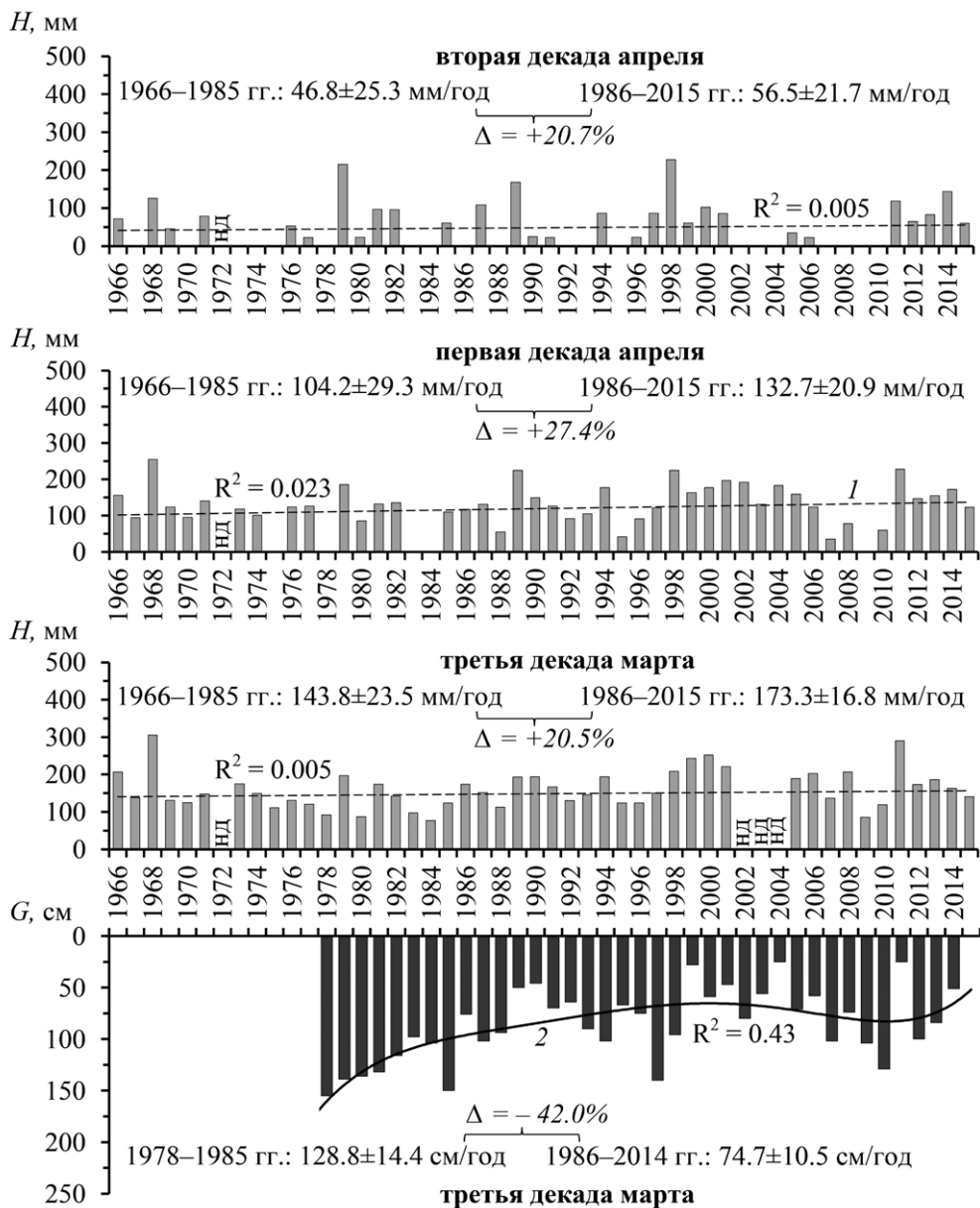
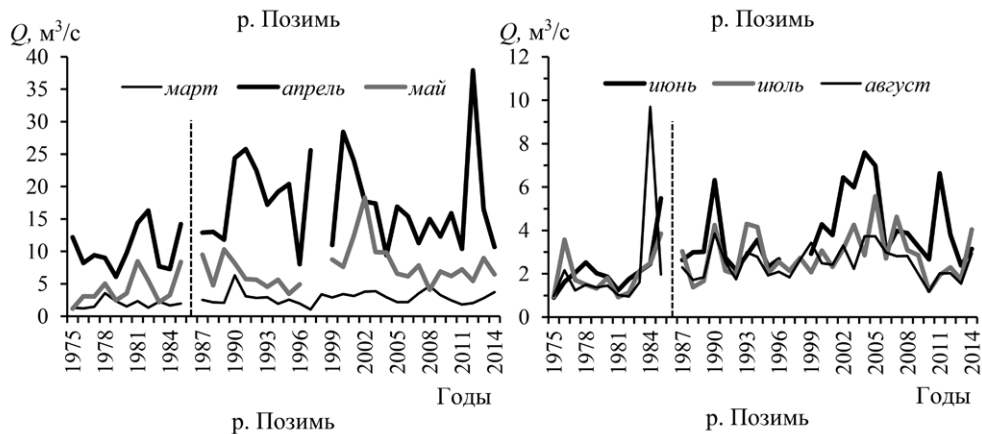
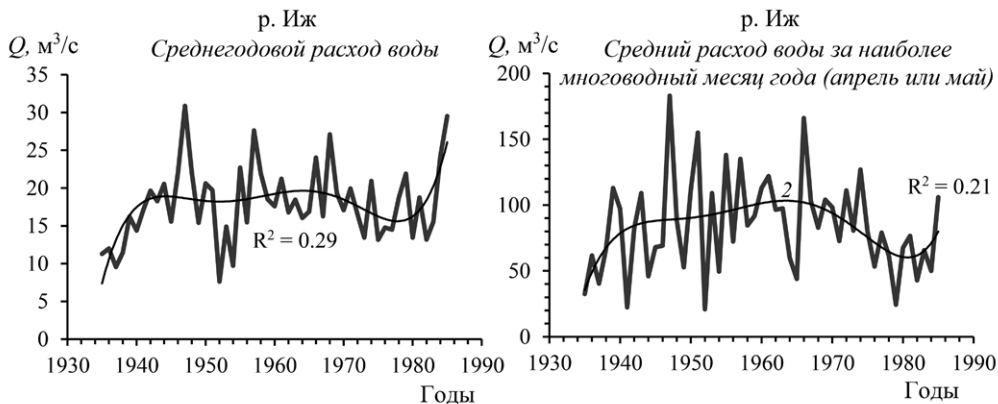


Рис. 6. Многолетняя изменчивость запасов воды в снежном покрове ( $H$ , по данным метеорологической станции г. Можга (см. рис. 2)) в марте-апреле 1966–2015 гг. и глубины промерзания почвы ( $G$ , по данным метеорологической станции г. Ижевск (см. рис. 2)) в марте 1978–2014 гг. 1 (2) — линейный (полиномиальный пятой степени) тренд;  $R^2$  — коэффициент аппроксимации линии тренда;  $\Delta$  — относительное изменение средних показателей между периодами; нд — нет данных

К сожалению, гидрологический пост на р. Иж у г. Агрыз перестал функционировать с 1986 г., поэтому для последующего анализа использованы данные наблюдений на гидрологическом посту на р. Позимь, который находится на несколько большем удалении от исследуемого водосбора (рис. 2). Кроме того, бассейн р. Позимь вплоть



Март:  
 1975–1985 гг.:  $1.91 \pm 0.41 \text{ м}^3/\text{с}$   
 1987–2014 гг.:  $2.91 \pm 0.38 \text{ м}^3/\text{с}$  }  $\Delta = +52.4\%$

Апрель:  
 1975–1985 гг.:  $10.42 \pm 1.98 \text{ м}^3/\text{с}$   
 1987–2014 гг.:  $17.45 \pm 2.61 \text{ м}^3/\text{с}$  }  $\Delta = +67.5\%$

Май:  
 1975–1985 гг.:  $4.19 \pm 1.42 \text{ м}^3/\text{с}$   
 1987–2014 гг.:  $7.52 \pm 1.17 \text{ м}^3/\text{с}$  }  $\Delta = +79.5\%$

Июнь:  
 1975–1985 гг.:  $2.18 \pm 0.71 \text{ м}^3/\text{с}$   
 1987–2014 гг.:  $3.93 \pm 0.63 \text{ м}^3/\text{с}$  }  $\Delta = +80.3\%$

Июль:  
 1975–1985 гг.:  $1.95 \pm 0.59 \text{ м}^3/\text{с}$   
 1987–2014 гг.:  $2.86 \pm 0.40 \text{ м}^3/\text{с}$  }  $\Delta = +46.7\%$

Август:  
 1975–1985 гг.:  $2.17 \pm 1.49 \text{ м}^3/\text{с}$   
 1987–2014 гг.:  $2.52 \pm 0.26 \text{ м}^3/\text{с}$  }  $\Delta = +16.1\%$

Рис. 7. Многолетняя изменчивость среднегодовых и среднемесячных (с марта по август) расходов воды ( $Q$ ) р. Иж (у г. Агрыз) и ее левого притока р. Позимь (1.5 км выше устья) (см. рис. 2) в 1935–2014 гг.

Усл. обозначения см. рис. 6.

Средние по десятилетиям расходы воды р. Иж/Агрыз: 1940–1949 гг.:  $81.9 \pm 21.9 \text{ м}^3/\text{с}$ , 1950–1959 гг.:  $96.8 \pm 25.9 \text{ м}^3/\text{с}$ , 1960–1969 гг.:  $98.9 \pm 20.8 \text{ м}^3/\text{с}$ , 1970–1979 гг.:  $78.8 \pm 18.1 \text{ м}^3/\text{с}$ , 1980–1985 гг.:  $68.1 \pm 17.8 \text{ м}^3/\text{с}$

Примечание. Данные по  $Q$  р. Позимь за 1986 г. отсутствуют

до настоящего времени является самой сельскохозяйственно освоенной частью бассейна р. Иж. Поэтому условия формирования стока воды в нем несколько отличаются от более залесенного (в верховьях) бассейна р. Иж, но близки к таковым в бассейне р. Агрызка, где и расположен изученный малый водосбор. Сток воды в период весен-

него половодья возрастал в последние десятилетия (рис. 7) на фоне снижения глубины промерзания почв и роста запасов воды в снеге в период снеготаяния (рис. 6). Можно предположить, что увеличение стока воды в период весеннего половодья в данном случае частично связано с увеличением внутрипочвенного стока. Данное заключение базируется на результатах наблюдений за линейным приростом оврагов, который резко сокращается, начиная с 1998 г. [21]. Тем не менее, данная тенденция в меньшей степени выражена непосредственно на исследуемом водосборе, где сокращение линейного прироста стало заметным лишь после 2005 г. (рис. 5). Причем, судя по изменению количества осадков теплого времени года, обстановка для усиления эрозионных процессов в 1986–2016 гг. складывалась несколько более благоприятная, чем в период 1966–1986 гг. (увеличение годовых осадков между периодами почти на 10%). Это особенно касается наиболее эрозионно-опасных осадков ливневого типа. Так, по данным метеостанции г. Ижевск, с 1986 г. заметно возросло число дождевых событий со слоем

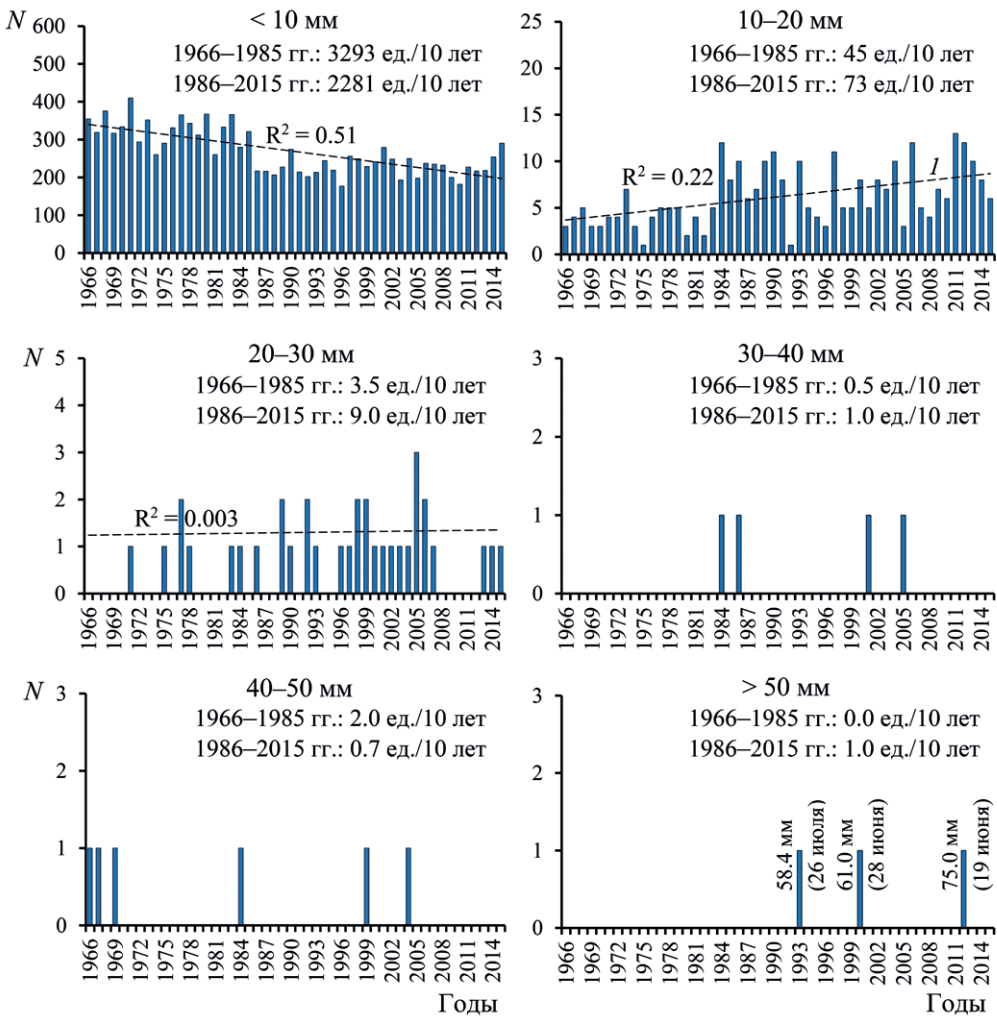


Рис. 8. Многолетние изменения количества дождевых событий ( $N$ , ед.) с разным слоем выпадения осадков в теплый период года (апрель–октябрь) по данным метеорологической станции г. Ижевск (см. рис. 2) за 1966–2015 гг. Усл. обозначения см. рис. 6

выпадения осадков 10–20, 20–30, 30–40 и более 50 мм (рис. 8). Это отразилось на росте расходов воды рек в летние месяцы, особенно в июне и июле (рис. 7). Не исключаем, что частично рост расходов воды в мае и июне был обусловлен и увеличением подземного стока, вызванного переводом части талого стока в подземную составляющую в годы с малым промерзанием почвогрунтов на водосборе, особенно в 1999–2006 гг. и 2011 г. (рис. 6, 7). Важно отметить, что данные по глубине промерзания почвы (рис. 6) относятся к последней декаде марта, и мы не располагаем информацией по этому показателю на период собственно активного снеготаяния в регионе (первая половина апреля). В этой связи можно лишь предположить, что, учитывая вышеуказанную многолетнюю тенденцию промерзания, в начале апреля почвы все же могли фильтровать гораздо больший объем талой воды (увеличение внутрипочвенного и грунтового стока), чем это предполагается на основании мартовских данных по промерзанию почвы, и, следовательно, больше снижать весенние темпы эрозии, увеличивая, тем самым, вклад гидроклиматических изменений в общее снижение темпов почвенно-овражной эрозии в регионе. Согласно результатам мониторинга, темпы линейного прироста оврагов в период 1998–2015 гг. не возросли по сравнению с предшествующим периодом 1978–1997 [19], несмотря на некоторый рост после 1998 г. стокоформирующих ливней, выпадавших в районе исследования согласно данным метеостанции в г. Ижевск (рис. 7). В любом случае одни лишь региональные гидрометеорологические изменения, произошедшие за последние 30 лет, не могли привести к столь значительному сокращению темпов смыва с пашни на изученном водосборе, что нашло свое отражение в снижении темпов аккумуляции наносов в ее днище в 2.5–16.5 раза (рис. 4).

*Изменения в системе землепользования.* В 1955 г. площадь пашни в Удмуртии была максимальной, и за последующие 35 лет (1955–1990 гг.) ее сокращение составило здесь лишь менее 3%, тогда как в период с 1990 г. по 2010 г. сокращение пахотных угодий оценивалось уже почти в 23.5% [21, 22]. В последние годы процесс забрасывания пашен в республике остановился.

При отсутствии архивных материалов по истории землепользования в пределах водосбора Куреговской балки мы попытались ее частично восстановить (за период 1984–2016 гг.) по материалам Архива космических снимков Landsat Геологической службы США [23]. Выяснилось, что собственно площадь пашни на водосборе практически не менялась вплоть до настоящего времени, но по характеру ежегодных сезонных изменений фототона в границах водосбора нам удалось установить, что с 1986 г. в структуре севооборотов заметно возросла доля многолетних трав. Это заключение подтвердил нам (устное сообщение) и местный агроном, согласно которому в период 2008–2014 гг. на водосборе их посевы чередовались с пропашными культурами. Только с 2014 г. здесь стали высаживать озимую рожь и ячмень, которые ранее, до 2008 г., преобладали и чередовались (раз в 4–5 лет) с посевами гороха, вики и других кормовых культур. В середине 1990-х гг. доля многолетних посевов была также значительной. Иными словами, за последние 30 лет отмечается очевидная тенденция смены структуры севооборотов в регионе: от озимых и яровых зерновых и технических культур в поздний советский период (1960–1980-е гг.) до преимущественно озимых зерновых и многолетних культур после распада СССР в 1991 г. На это указывают и расчетные значения почвозащитного коэффициента растительности для периодов снеготаяния ( $C_m = 0.19$ ) и ливневого периода ( $C_d = 0.57$ ) в целом для территории Удмуртии после 1991 г. [24], что в 1.20–1.45 раза выше, чем для советского периода землепользования. Рост доли многолетних трав в севообороте многократно увеличивает противозерозионную устойчивость почв во время формирования талого и ливневого стока на пашне, сокращая, тем самым, темпы почвенного смыва. Так, противозерозионная устойчивость дерново-подзолистых почв, к примеру, в Брянской области под многолетними травами выше почти в 200 раз (а под озимыми с подсевом многолетних трав — почти в 30–40 раз), чем на открытой зяби [25].

Следовательно, увеличение доли многолетних трав в севообороте явилось, вероятно, ведущей причиной (предварительный вывод) существенного сокращения темпов смыва с пашни в пределах исследованного водосбора. Это также сказалось на частичной перестройке путей перераспределения наносов. Именно на это указывают отмеченные ранее тенденции изменения мощностей пачек наносов, отложившихся в днище балки до и после 1986 г. Так, в условиях более сильного стока и почвенной эрозии в период максимальных темпов ее проявления в 1950–60-х гг. наносы широким “фронтом” поступали в днище балки, в том числе при экстремальном смыве по ее бортам, частично на них аккумулируясь. Одновременно по бортам долины, благодаря преимущественно талому стоку, формировались относительно глубокие промоины. Это приводило к тому, что масса наносов, поступавших в днище, увеличивалась вниз по течению, что по мере уменьшения уклонов днища и его расширения способствовало возрастанию темпов аккумуляции от верховьев к низовьям. При смене севооборотов в пользу многолетних трав, начиная с 1990-х гг., поверхностный (талый и дождевой) смыв на пашне был более вероятен только на участках концентрации стока воды по сети ложбин, где также частично выклинивается и внутрипочвенный сток. Наносы стали более равномерно аккумулироваться в днище балки, а т.к. в верхней части оно более узкое, то здесь суммарный слой отложившихся после 1986 г. наносов больше. Вниз по течению днище балки расширяется и, следовательно, уменьшается мощность отложенного материала, смытого со склонов.

Отмеченное в границах водосбора Куреговской балки изменение (сокращение) современных темпов эрозии и аккумуляции, вызванное изменением физико-географических условий поверхностного стока воды в нем, можно рассматривать как частный региональный случай пространственно-временных смен систем эрозии в речных бассейнах за достаточно короткий временной интервал, обусловленных изменениями соотношения бассейновой (почвенно-овражной) и русловой (горизонтальные и вертикальные деформации русел водотоков) ее составляющих [26, 27].

## Заключение

Анализ эпюр вертикального распределения изотопа  $^{137}\text{Cs}$  в современных отложениях днища долины малого водосбора, расположенного на юге лесной зоны в границах Удмуртии в бассейне р. Агрызка, позволил реконструировать тренд изменений темпов эрозионно-аккумулятивных процессов на водосборе в последние 60 лет. Установлено, что максимальные темпы склонового смыва наблюдались здесь в 1950–1960-х гг. Они были связаны со значительным талым стоком, а также частично с экстремальным ливневым стоком в годы с аномально высоким слоем летних осадков. Если за период 1954(?)–1986 гг. темпы аккумуляции смытого почвенного материала в днище долины данного малого водосбора составляли 1.8–2.5 см/год, то за период 1987–2016 гг. — 0.15–0.75 см/год, т.е. сократились как минимум в 2.5–3 раза. Эта тенденция хорошо согласовалась со снижением темпов прироста вершин агрогенных оврагов в Удмуртии за последние 40 лет: с 1.3 м/год в 1978–1997 гг. до 0.3 м/год в 1998–2014 гг. Важнейшим фактором резкого снижения темпов аккумуляции наносов в районе исследования после 1986 г., отражающим общее сокращение интенсивности смыва и размыва в водосборе, послужило изменение севооборотов в сторону увеличения доли многолетних трав. Весьма заметный вклад в отмеченную динамику внесли также и климатические изменения, способствовавшие уменьшению глубины промерзания почв, особенно в период с 1999 по 2006 гг., что привело к сокращению поверхностного стока на склонах водосбора в период снеготаяния.



Выявленный тренд общего уменьшения темпов аккумуляции в водосборе Куревской балки за последние 60 лет подтверждает результаты расчетных (модельных) оценок темпов смыва на пахотных землях юга лесной зоны ЕТР, согласно которым здесь произошло их почти двукратное сокращение (при сравнении темпов смыва в 1980 г. и 2012 г. соответственно) [4, 24]. Однонаправленный тренд снижения темпов смыва на пашне и аккумуляции наносов в различных звеньях флювиальной сети отмечался в последние десятилетия с той или иной степенью выраженности и в других ландшафтных зонах Восточной Европы [3, 28–34 и др.].

**Благодарности.** 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, и в рамках темы ГЗ 0127-2019-0008 ИГ РАН.

Авторы признательны доценту Удмуртского государственного университета И. И. Григорьеву за помощь в проведении полевых тахеометрических измерений и построении схемы площадного прироста донного оврага в днище исследуемой малой долины, а также аспиранту Казанского (Приволжского) федерального университета А. М. Гафурову за участие в полевых научных работах 2016 г.

**Acknowledgements.** The reported study was funded by the Russian Science Foundation according to the research (project No. 15-17-20006). This study was also funded 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, and by the State program No. 0127-2019-0008 (the Institute of Geography, RAS).

The authors are grateful to I. I. Grigoryev, an associate professor of Udmurt State University, for assistance in field tacheometric measurements and constructing the scheme of the bottom gully increment within the small catchment studied, and also to A. M. Gafurov, a PhD student of Kazan Federal University, for his participation in scientific fieldworks in 2016.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dore M. H. I.* Climate change and changes in global precipitation patterns: what do we know? // Environment International. 2005. Vol. 31. Iss. 8. P. 1167–1181.
2. *McNutt M.* Climate change impacts // Science. 2013. Vol. 341. Iss. 6145. P. 435.
3. *Golosov V. N., Belyaev V. R., and Markelov M. V.* Application of Chernobyl-derived <sup>137</sup>Cs fallout for sediment redistribution studies: lessons from European Russia // Hydrological Processes. 2013. Vol. 27. No. 6. P. 781–794.
4. *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.
5. *Голосов В. Н.* Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М.: ГЕОС, 2006. 296 с.
6. *Голосов В. Н.* Количественная оценка перераспределения наносов в верхних звеньях флювиальной сети: достижения и проблемы // Геоморфология. 2008. № 3. С. 29–37.
7. *Голосов В. Н., Острова И. В., Силантьев А. Н., Шкуратова И. Г.* Радиоизотопный метод оценки темпов внутрибассейновой аккумуляции // Геоморфология. 1992. № 1. С. 30–36.
8. *Голосов В. Н.* Использование радиоизотопов при исследовании эрозионно-аккумулятивных процессов // Геоморфология. 2000. № 2. С. 26–33.
9. *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.

10. *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.
11. *Porto P., Walling D.E., and Callegari G.* Using <sup>137</sup>Cs measurements to establish catchment sediment budgets and explore scale effects // *Hydrological Processes*. 2011. Vol. 25. P. 886–900.
12. *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*. Ed. by I. D. L. Foster. Chichester (UK): John Wiley & Sons Ltd, 2000. P. 183–200.
13. *Zapata F.* Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environment Radionuclides. Dordrecht (Netherlands): Kluwer Academic Publishers, 2002. 219 p.
14. *Силантьев А. Н., Шкуратова И. Г.* Обнаружение промышленных загрязнений почвы и атмосферных выпадений на фоне глобального загрязнения. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 136 с.
15. Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины / Под ред. Ю. А. Израэля. М.: ИГКЭ Росгидромета, Роскартография, 1998. 144 с.
16. Атлас Удмуртской Республики [Карты]: пространство, деятельность человека, современность / Правительство Удмуртской Республики [и др.]; Под общ. ред. И. И. Рысина; Отв. ред. А. П. Притворов. М. — Ижевск: Феория, 2016. 281 с.
17. *Переведенцев Ю. П., Наумов Э. П., Шанталинский К. М.* Климатические условия и ресурсы Республики Удмуртия. Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. 212 с.
18. *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.
19. *Рысин И. И.* Овражная эрозия в Удмуртии. Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 1998. 274 с.
20. *Рысин И. И., Григорьев И. И., Зайцева М. Ю., Голосов В. Н.* Линейный прирост оврагов Вятско-Камского междуречья на рубеже XX и XXI столетий // *Вестн. МГУ. Сер. 5. География*. 2017. № 1. С. 63–72.
21. *Рысин И. И., Голосов В. Н., Григорьев И. И., Зайцева М. Ю.* Влияние изменений климата на динамику темпов роста оврагов Вятско-Камского междуречья // *Геоморфология*. 2017. № 1. С. 90–103.
22. *Акмаров П. Б., Князева О. П., Рысин И. И.* Агроклиматический потенциал эффективности земледелия (на примере зерновых культур Удмуртии) // *Вестн. Удмурт. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле*. 2014. Вып. 2. С. 89–96.
23. Архив космических снимков Landsat // Геологическая служба США (USGS). URL: <https://landsatlook.usgs.gov/viewer.html> (дата обращения: 10.04.2017).
24. *Golosov V., Yermolaev O., Litvin L., Chizhikova N., Kiryukhina Z., Safina G.* Influence of climate and land use changes on recent trends of soil erosion rates within the Russian plain // *Land Degradation and Development*. 2018. Vol. 29. No. 8. P. 2658–2667.
25. *Хорина Е. В.* Эрозийная устойчивость пахотных земель Брянской области. Дис. ... канд. геогр. наук. Казань. (Приволж.) федер. ун-т, 2013. 201 с.
26. *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.
27. *Дедков А. П., Гусаров А. В., Мозжерин В. В.* Две системы эрозии в речных бассейнах равнин Земли и их взаимная трансформация (часть I) // *Геоморфология*. 2008. № 4. С. 3–16.
28. *Голосов В. Н., Геннадьев А. Н., Олсон К. Р., Маркелов М. В., Жидкин А. П., Чендев Ю. Г., Ковач Р. Г.* Пространственно-временные особенности развития почвенно-эрозийных процессов в лесостепной зоне Восточно-Европейской равнины // *Почвоведение*. 2011. № 7. С. 861–869.
29. *Голосов В. Н., Беляев В. Р., Маркелов М. В., Шамишурина Е. Р.* Особенности перераспределения наносов на малом водосборе за различные периоды его сельскохозяйственного освоения (водосбор Грачёва лошина, Курская область) // *Геоморфология*. 2012. № 1. С. 25–35.
30. *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.
31. *Шарифуллин А. Г., Гусаров А. В., Голосов В. Н.* Современный тренд эрозийно-аккумулятивных процессов в малом распаханном водосборе, Республика Татарстан // *Геоморфология*. 2018. № 3. С. 93–108.
32. *Гусаров А. В., Голосов В. Н., Шарифуллин А. Г., Гафуров А. М.* Современный тренд эрозии пахотных черноземов южных на западе Оренбургской области // *Почвоведение*. 2018. № 5. С. 601–616.

33. Гусаров А. В., Шарифуллин А. Г., Голосов В. Н. Современный тренд эрозии пахотных черноземов обыкновенных Приволжской возвышенности (Саратовская область) // Почвоведение. 2018. № 12. С. 1514–1532.
34. Gusarov A. V., Golosov V. N., Sharifullin A. G. Contribution of climate and land cover changes to reduction in soil erosion rates within small cultivated catchments in the eastern part of the Russian Plain during the last 60 years // Environmental Research. 2018. Vol. 167. P. 21–33.

## REFERENCES

1. Dore M. H. I. Climate change and changes in global precipitation patterns: what do we know? *Environment International*. 2005. Vol. 31. Iss. 8. P. 1167–1181.
2. McNutt M. Climate change impacts. *Science*. 2013. Vol. 341. Iss. 6145. P. 435. DOI: 10.1126/science.1243256
3. Golosov V. N., Belyaev V. R., and Markelov M. V. Application of Chernobyl-derived <sup>137</sup>Cs fallout for sediment redistribution studies: lessons from European Russia. *Hydrological Processes*. 2013. Vol. 27. No. 6. P. 781–794. DOI: 10.1002/hyp.9470
4. 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
5. Golosov V. N. *Erozionno-akkumulativnyye protsessy v rechnyh basseynah osvoennykh ravnin* (Erosion and deposition processes in river basins of cultivated plains). Moscow: GEOS (Publ.), 2006. 296 p.
6. Golosov V. N. A quantitative assessment of deposits' redistribution in the upper links of fluvial network: Achievements and problems. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2008. No. 3. P. 29–37 (in Russ.).
7. Golosov V. N., Ostrova I. V., Silantyev 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.).
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. 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.
10. 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.
11. Porto P., Walling D. E., and Callegari G. Using <sup>137</sup>Cs measurements to establish catchment sediment budgets and explore scale effects. *Hydrological Processes*. 2011. Vol. 25. P. 886–900. DOI: 10.1002/hyp.7874
12. 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*. Ed. by I. D. L. Foster. Chichester (UK): John Wiley & Sons Ltd, 2000. P. 183–200.
13. Zapata F. Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environment Radionuclides. Dordrecht (Netherlands): Kluwer Academic Publishers, 2002. 219 p.
14. Silantyev A. N. and Shkuratova I. G. *Obnaruzheniye promyshlennih zagryazneniy i atmosfernih vypadeniy na fone global'nogo zagryazneniya* (Detection of industrial soil pollution and atmospheric fallouts against the background of global pollution). Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.), 1983. 136 p.
15. *Atlas radioaktivnogo zagryazneniya Evropeyskoy chasti Rossii, Belorussii i Ukrainy* (Atlas of Radioactive Contamination of European Russia, Belarus and Ukraine). Ed. by Yu. A. Izrael'. Moscow: Rosgidromet-Roskosmos (Publ.), 1998, 144 p.
16. *Atlas Udmurtskoy Respubliki [Karty]: prostranstvo, deyatel'nost' cheloveka, sovremennost' / Pravitel'stvo Udmurtskoy Respubliki* (Atlas of the Udmurt Republic [Maps]: space, human activity, modernity / Government of the Udmurt Republic). Ed. by I. I. Rysin, A. P. Pritvorov. Izhevsk: Feoria (Publ.), 2016. 281 p.

17. Perevedentsev Ju. P., Naumov E. P., and Shantalinskii K. M. *Klimaticheskiye usloviya i resursy Respubliki Udmurtiya* (Climatic conditions and resources of the Udmurt Republic). Kazan: Kazan University (Publ.), 2009. 212 p.
18. 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.
19. Rysin I. I. *Ovrazhnaya eroziya v Udmurtii* (Gully erosion in Udmurtia). Izhevsk: Udmurt University (Publ.), 1998. 274 p.
20. Rysin I. I., Grigoryev I. I., Zaitceva M. Yu., and Golosov V. N. Dynamics of the linear retreat of gully heads within the Vyatka–Kama interfluvium at the turn of 20<sup>th</sup> and 21<sup>st</sup> centuries. *Vestn. Mosk. Univ. Ser. 5: Geogr.* 2017. No. 1. P. 63–72 (in Russ.).
21. Rysin I. I., Golosov V. N., Grigoryev I. I., and Zaitceva M. Yu. Influence of climate change on the rates of gully growth in the Vyatka–Kama watershed. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2017. No. 1. P. 90–103 (in Russ.). DOI:10.15356/0435-4281-2017-1-90-103
22. Akmarov P. B., Knyazeva O. P., and Rysin I. I. Agroclimatic potential of efficiency of agriculture. *Bull. Udmurt. Univ. Ser. Biol. Nauki o Zemle*. 2014. Iss. 2. P. 89–96 (in Russ.).
23. USGS Landsat Global Archive. URL: <https://landsatlook.usgs.gov/viewer>. (10.04.2017).
24. Golosov V., Yermolaev O., Litvin L., Chizhikova N., Kiryukhina Z., and Safina G. Influence of climate and land use changes on recent trends of soil erosion rates within the Russian plain. *Land Degradation and Development*. 2018. Vol. 29. No. 8. P. 2658–2667.
25. Khorina E. V. *Eroziyonnaya ustoychivost' pahotnykh zemel' Bryanskoy oblasti* (Erosion resistance of arable lands in the Bryansk oblast). PhD thesis. Bryansk, 2013. 201 p.
26. Gusarov A. V. The main regularities of the ratio between riverbed and basin components of erosion and suspended sediment flux in the Northern Eurasia's river basins. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2015. No. 4. P. 3–20 (in Russ.). DOI:10.15356/0435-4281-2015-4-3-20
27. Dedkov A. P., Gusarov A. V., and Mozhherin V. V. Two erosion systems in the river basins of the Earth's plains and their mutual transformation (part I). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2008. No. 4. P. 3–16 (in Russ.).
28. Golosov V. N., Gennadiev A. N., Markelov M. V., Zhidkin A. P., Kovach R. G., Olson K. R., and Chendev Yu. G. Spatial and temporal features of soil erosion in the forest-steppe zone of the East-European Plain. *Eurasian Soil Science*. 2011. Vol. 44. No. 7. P. 794–801.
29. 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.).
30. 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 <sup>137</sup>Cs as a Chronomarker. *Eurasian Soil Science*. 2017. Vol. 50. No. 10. P. 1195–1208.
31. Sharifullin A. G., Gusarov A. V., and Golosov V. N. Assessment of contemporary erosion/sedimentation trend within a small cultivated catchment in the Republic of Tatarstan (European Russia). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2018. No. 3. P. 93–108 (in Russ.).
32. Gusarov A. V., Golosov V. N., Sharifullin A. G., and Gafurov A. G. Contemporary Trend in Erosion of Arable Southern Chernozems (*Haplic Chernozems Pachic*) in the West of Orenburg Oblast (Russia). *Eurasian Soil Science*. 2018. Vol. 51. No. 5. P. 561–575.
33. Gusarov A. V., Sharifullin A. G., and Golosov V. N. Contemporary Trend in Erosion of Arable Ordinary Chernozems (*Haplic Chernozems (Pachic)*) within the Volga Upland (Saratov Oblast, Russia). *Eurasian Soil Science*. 2018. Vol. 51. No. 12. P. 1514–1532.
34. Gusarov A. V., Golosov V. N., and Sharifullin A. G. Contribution of climate and land cover changes to reduction in soil erosion rates within small cultivated catchments in the eastern part of the Russian Plain during the last 60 years. *Environmental Research*. 2018. Vol. 167. P. 21–33.