

УДК 631.6.02:631.92

ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК ТАЛЫХ И ЛИВНЕВЫХ ВОД С ТЕРРИТОРИИ СКЛОНОВЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ОБЫКНОВЕННЫХ СЕВЕРНОГО ПРИАЗОВЬЯ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Э.А. Гаевая

*Федеральный Ростовский аграрный научный центр,
Ростовская обл., Аксайский район, п. Рассвет, Россия
emmaksay@inbox.ru*

Поступила в редакцию 18.11.2025

После доработки 14.12.2025

Принята к публикации 15.01.2026

Аннотация. Эрозия почвы является одним из главных факторов деградации черноземов, нанося наибольший вред сельскохозяйственным угодьям. Особенно возросла нагрузка на почву в последние десятилетия в связи с интенсификацией земледелия, увеличением урожая и сокращением возврата в почву питательных веществ, повлекших изменение физических свойств черноземов. Целью данной статьи явилось изучение проявления интенсивности стока талых и ливневых вод в севооборотах различной конструкции на территории склоновых агрочерноземов в условиях меняющегося климата. Полевые исследования проводили в Аксайском районе Ростовской области в длительном полевом эксперименте по изучению севооборотов и приемов обработки почвы в 1990–2024 гг. Опытный участок расположен на эрозионно опасном склоне юго-восточной экспозиции крутизной до 3.5–4°, организация территории склона контурно-ландшафтная. Почвенный покров участка представлен черноземом обыкновенным карбонатным среднесмытым среднемощным малогумусным тяжелосуглинистым на лессовидном суглинке. В результате меняющегося климата в последние десятилетия отмечено изменение процессов стокообразования. Изменение климата проявляется в увеличении среднесуточной температуры воздуха и уменьшении суммы осадков, как в течение года, так и в различные периоды формирования талого и ливневого стока. Выявлено снижение снежного покрова в последние годы или его отсутствие на полях, при этом увеличивается количество экстремальных ливней. Установлены значения среднесуточных температур воздуха, при которых начинается интенсивный сток. Определена зависимость стока воды от интенсивности ливней и суммы осадков. Увеличение доли многолетних трав в структуре посевов почвозащитных севооборотов до 40% позволило сократить сток на 39.3–58.1%, а применение почвозащитной обработки почвы на 21.0–23.7%. Применение противоэрозионных мероприятий, таких как организация территории склона, почвозащитные севообороты и способы обработки почвы и др., позволяет сократить сток до безопасных пределов, а в отдельных случаях полностью его предотвратить.

Ключевые слова: среднесуточная температура воздуха, сумма осадков, период снеготаяния, запас воды в снеге, теплый период, почвозащитные мероприятия

DOI: <https://doi.org/10.71367/3034-4638-2025-4-4-99-112>

ВВЕДЕНИЕ

Водная эрозия, наносящая наибольший вред сельскохозяйственным угодьям, является одним из главных факторов деградации черноземов. Изменения в землепользовании меняют круговорот воды на глобальном, региональном и локальном уровнях за счет изменения осадков, испарения, затопления, подземных вод. На глобальном уровне

наиболее заметным для населения планеты видом воздействия в круговороте воды в природе является поверхностный сток, интенсивность которого напрямую влияет на плодородие почв. На локальном уровне возможно управление только антропогенной составляющей (Гарцман, Шаповалов и др., 2023; Сиуков, Семененко, 2025; Wang L. et al., 2025).

На юге европейской части России сток талых вод наблюдается в течение холодного периода (с января по апрель) (Барабанов, 2024). Наибольшее влияние на талый сток оказывают три природных фактора: глубина промерзания почвы, снеготалоходы и влажность пахотного слоя почвы. Из антропогенных факторов сильное влияние оказывает способ обработки почвы и состояние агрофона, однако в последние два десятилетия наблюдается тренд устойчивого снижения стока. Также на интенсивность стока влияют: объем свободных пор в верхнем слое, температурный режим воздуха и выпадение жидких осадков (Барабанов, Петелько, 2023; Гарцман, 2022; Мустафаев, 2022; Li et al., 2025; Xiao et al., 2025; Qinghua et al., 2025). Проблема формирования весеннего поверхностного стока на сельскохозяйственных землях очень актуальна, и ее решение должно быть основано на знании правил взаимодействия снежной воды с талой и мерзлой почвой. При оценке роли стокоформирующих факторов часто не учитывается их взаимное влияние. Поэтому трудно получить однозначный ответ на вопрос об их стокорегулирующей роли. Снеготалоходы, накопленные к началу весеннего снеготаяния, не влияют на впитывание, но от них зависит величина стока, т. е. стекает та их часть, которая не впиталась в почву (Барабанов, 2022).

Ливневый сток наблюдается с мая по сентябрь и зависит от количества выпавших осадков. Формирование стока — это сложный процесс приповерхностного влагооборота, частью которого являются атмосферные осадки, расход воды и компоненты испарения, их динамика и пространственное распределение (Ушаков, Середина, 2024). Результатом стока является смыв почвы, который зависит от интенсивности ливней, суммы осадков за один дождь, уклонов поверхности, величины проективного покрытия поверхности почвы растительным покровом, способов обработки почвы (Полужков, Балакай, 2022; Остроумова, Соловьева, 2022; Чеботарев, 2022; Wang G. et al., 2025). Сохранению и воспроизводству плодородия почвы содействуют мероприятия, разрабатываемые на адаптивно-ландшафтной основе, учитывающие современное состояние земельных участков на агроландшафтах и использующие мелиорирующую способность защитных лесных насаждений (Полужков, Балакай, 2025).

Целью статьи стало исследование интенсивности проявления стока талых и ливневых вод в севооборотах различных конструкций на территории склоновых агрочерноземов в условиях меняющегося климата.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Полевые исследования проводили в 1990—2024 гг. в длительном полевом эксперименте по изучению севооборотов и приемов обработки почвы на эрозионно опасном склоне юго-восточной экспозиции крутизной до 3.5—4° балки Большой Лог Аксайского района Ростовской области. Опытный участок вписывается в контурно-ландшафтную систему организации территории склона, размещенные культуры — полосное, направление обработки почвы и посева — поперек склона приблизительно к горизонталям. Средняя ширина полос от 45 до 55 м. Опыт зарегистрирован в российской Географической сети длительных опытов с удобрениями (аттестат № 169).

Почвенный покров участка представлен черноземом обыкновенным карбонатным среднесмытым среднемогучим малогумусным тяжелосуглинистым на лессовидном суглинке. Мощность $A_{\text{пах}}$ — 25—30 см, $A+B$ — от 40 до 60 см — в зависимости от смывости. Горизонт А имеет зернистую структуру, АВ — орехово-комковатую и зернисто-комковатую. Вскипание почвы наблюдается с поверхности или в верхней части гумусового горизонта. С той же глубины начинается отложение карбонатов, сначала в виде мицелия, потом в виде прожилок. На глубине 120 см или глубже появляется белоглазка.

Смывость почвы при закладке опыта определена как среднесмытая. Среднегодовой сток около 20 мм (максимальный 34.4 мм). Плотность почвы в пахотном слое варьирует в пределах 1.10—1.25 г/см³. Порозность пахотного горизонта — 61.5%, подпахотного — 54%. Полевая влагоемкость 33—35 весовых процентов, влажность завядания 13.9—15.4%. По гранулометрическому составу — мелких фракций 36.52%, крупных — 36.65%.

Климат зоны проведения исследований — засушливый, умеренно жаркий, континентальный. Относительная влажность воздуха имеет ярко выраженный годовой ход. Минимальные ее значения отмечаются в июле — 50—60%, а в отдельные дни даже могут быть 25—30% и ниже. Среднее многолетнее количество осадков 540 мм, их распределение с агрономической точки зрения часто неблагоприятное. За весенне-летний период выпадает 231—290 мм. Среднегодовая температура воздуха + 9.6°, июля + 23°, минимальная зимой — минус 41°С, максимальная летом до + 40°. Глубина промерзания почвы колеблется от 5 до 30 см. Сумма активных температур вегетационного периода составляет 2400—2900°. Частые явления — засухи, имеют место пыльные бури различной степени интенсивности (Климатические нормы..., 2025).

Фактические метеорологические показатели (количество осадков и среднесуточная температура) были получены на метеорологическом посту в п. Рассвет, на приборе Precision Weather Station Vantage Pro2.

Изучали три севооборота с различным соотношением эрозионно устойчивых и неустойчивых культур. Севооборот «А» (контроль) включал 20% чистого пара, 60% зерновых колосовых культур и 20% пропашных культур. Севооборот «Б» – 20% зернобобовых, 40% зерновых колосовых культур, 20% пропашных культур и 20% многолетних трав. Севооборот «В» – 40% зерновых колосовых культур, 20% пропашных культур и 40% многолетних трав. Изучали два варианта обработки почвы в севооборотах: почвозащитную (чизельная) и отвальную, принятую за контроль. Почвозащитная обработка (чизельная) осуществлялась чизельным плугом ПЧ-2.5 или ПЧ-4.5, отвальную обработку почвы (вспашку) выполняли плугом ПЛН-5-35 как основную обработку на глубину 27–30 см в паровом поле и под пропашные культуры; 23–25 см – под многолетние травы и на 20–22 см – под яровые культуры.

Определение стока талой и ливневой воды на фоне различных приемов обработки почвы проводили методом микроплощадок (Изучение динамики..., 1976; Методические рекомендации по учету..., 1975). Высоту снежного покрова измеряли снегомерной рейкой, точность определения до 1 см на снегомерных маршрутах. Замеры проводили в 10 точках через 3–5 м в 3-кратной повторности. Плотность снега определяли снегомером ВС-43 с последующим пересчетом. Математическую обработку полученных результатов проводили с использованием Microsoft Excel и программы Statistica 13.3 (15).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика метеорологических условий формирования талого стока

Изменение климата в настоящее время является одной из проблем, требующих комплексного решения в почвозащитном земледелии. Нарастание среднесуточных температур и уменьшение количества осадков с конца прошлого века особенно четко видно на диаграмме (рис. 1). В начале 90-х гг. прошлого века средняя сумма осадков за год была больше многолетней нормы на 20 мм (на 4%), а в последнее десятилетие отклонение от нормы составило 30 мм, или на 12% в сторону уменьшения. О чем свидетельствует линия тренда, подтверждающая снижение количества осадков, выпадающих в течение года. При изменении количества осадков меняется и температурный режим в сторону увеличения средней температуры воздуха в среднем на 1.6 °C (16%).

В Ростовской области период снеготаяния начинается с конца февраля до второй декады марта месяца, в редких случаях снег выпадает в последней декаде марта. В последние годы в Приазовской зоне часто отмечаются оттепели, называемые «февральскими окнами», сопровождающиеся кратковременным повышением среднесуточных температур воздуха и таянием снега. Возникновение оттепелей в дневные часы приводит к таянию снега и формированию стока. Потоки талых вод беспрепятственно перемещаются вниз по склону по оттаявшей поверхности верхнего слоя почвы на 3–5 см, а нижние слои при этом остаются промерзшими. Эти условия способствуют формированию талого стока со склоновых земель, уносящего с собой плодородный верхний слой почвы. Сток

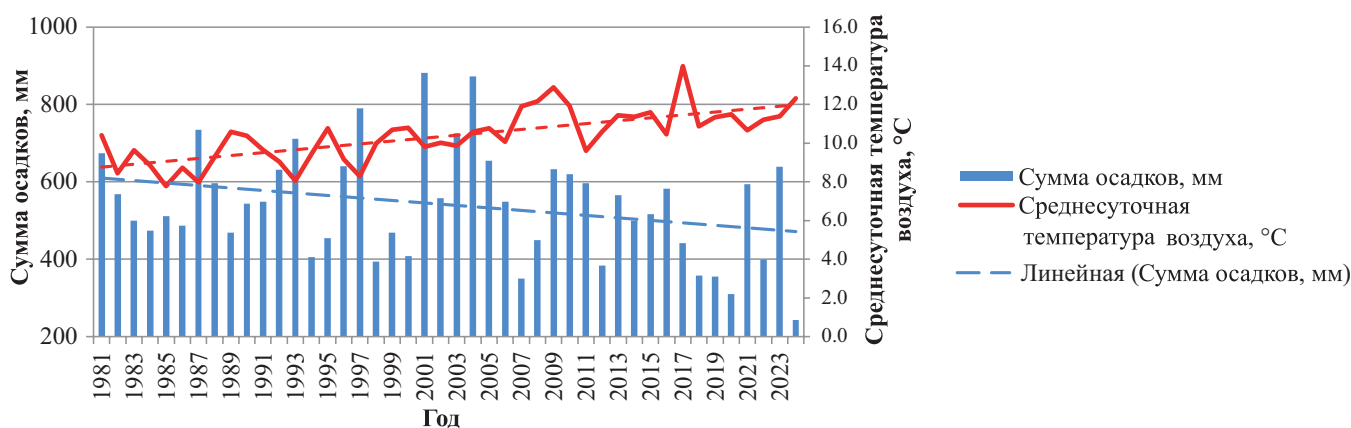


Рис. 1. Сумма осадков и среднесуточная температура воздуха, п. Рассвет, 1981–2024 гг.

Fig. 1. Precipitation and average daily air temperature, Rassvet, 1981–2024



Рис. 2. Отклонение от нормы суммы осадков и среднесуточной температуры воздуха периода снеготаяния (февраль-март), п. Рассвет, 1981–2024 гг.

Fig. 2. Deviation from the norm of precipitation and average daily air temperature during the snowmelt period (February-March), Rassvet, 1981–2024

зависит от многих факторов: приемов обработки почвы (отвалы и безотвалы, глубокие и мелкие и др.), плотности почвы, водопроницаемости, направления обработки почвы, крутизны и экспозиции склона, количества стерни и пожнивных остатков, степени развития озимых культур или проективного покрытия поверхности почвы растениями и многих других. Все эти показатели в той или иной степени способствуют или препятствуют развитию процессов деградации, и поэтому необходимо учитывать их взаимодействие и влияние при оценке роли стокоформирующих факторов (Барбанов, 2022). Одним из факторов, влияющих на интенсивность талого стока, является рыхлая или уплотненная почва. По данным Е.В. Полуэктова и Г.Т. Балакая (2025), талый сток в посевах озимой пшеницы (уплотненная почва) больше, чем на зяби (рыхлая почва).

Изменение показателей суммы осадков и среднесуточной температуры воздуха периода снеготаяния (февраль-март) аналогично динамике в течение года (рис. 2). В конце прошлого столетия отклонение от нормы суммы осадков за период снеготаяния составляло 9.4 мм, или 11%, а среднесуточная температура воздуха (-0.4°C) оставалась на уровне среднееголетних значений. В последние десятилетия количество осадков за этот же период уменьшилось на 17.0 мм (20%), а среднесуточная температура воздуха (2.6°C) более чем в пять раз

превышала среднееголетнюю норму (-0.5°C). Столь значительные изменения погодных условий отразились на количестве твердых осадков периода снеготаяния (высота снежного покрова и запас воды в снеге). Климатические изменения и экономическая ситуация в целом в России вносят свои коррективы в почвозащитные мероприятия.

В последнее десятилетие отмечается значительное сокращение количества снежного покрова, как на всей территории России, так и в Ростовской области (Титкова, Виноградова, 2017). По нашим данным, измерение высоты снежного покрова на зяби выявило тенденцию его уменьшения в последнее десятилетие. В среднем высота снежного покрова за тридцатилетний период исследования в Приазовской зоне колебалась в пределах 11 см. В 90-е гг. прошлого столетия высота снежного покрова достигала 14 см, а в последние годы нынешнего столетия уменьшилась до 10 см. Также участились случаи малоснежных зим, когда высота его не превышала 2–3 см в период снеготаяния. Значительное изменение климата сказывается и на процессах накопления снега и его снеготаяния (рис. 3).

Изменение ценовой политики по части энергоносителей привело к тому, что многие хозяйства сокращают некоторые технологические операции при возделывании сельскохозяйственных культур с целью уменьшения затрат на единицу продукции.

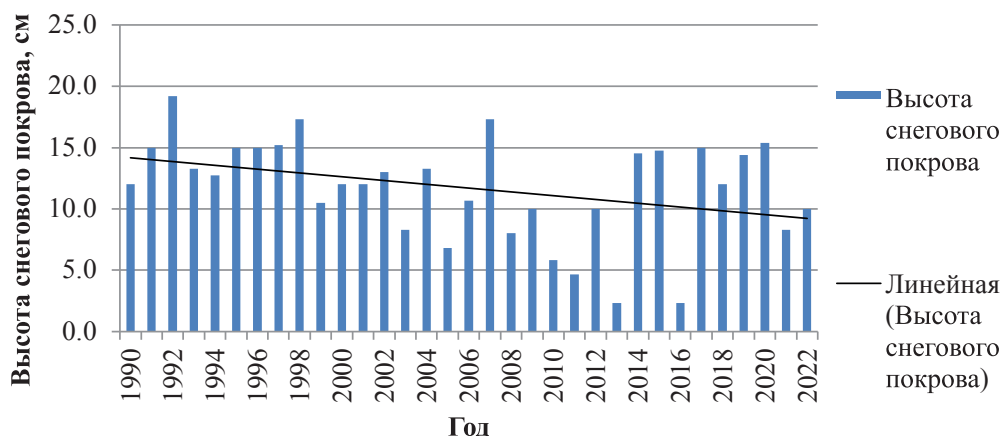


Рис. 3. Высота снежного покрова на зяби в начале периода снеготаяния, см, п. Рассвет, 1990–2022 гг.

Fig. 3. Snow cover height in the swell at the beginning of the snowmelt period, cm, Rassvet, 1990–2022

Примером тому является отказ от таких противо-эрозионных приемов на полях, как лункование и снегозадержание. В результате происходят потери талых вод в виде стока, приводящие к снижению плодородного слоя почвы (рис. 4).

В последние годы изменение климата в сторону потепления и уменьшения снежного покрова на полях способствует лучшей перезимовке озимых культур на полях. С одной стороны, отсутствие снега на полях не приводит к разрушительным последствиям, таким как жидкий и твердый сток, с другой стороны, сокращение количества осадков отражается на накоплении запасов продуктивной влаги в почве (Барабанов, 2024; Гаевая, 2016).

Для южных регионов страны это является значительным фактором, влияющим на урожайность сельскохозяйственных культур. Основное влагонакопление для формирования будущего урожая происходит в холодный период года с ноября по март, когда выпадает более половины нормы годовых осадков в виде дождя и снега, а непродуктивные потери влаги на испарение являются минимальными. Поэтому задача почвозащитного земледелия – сократить непродуктивные потери влаги и максимально сохранить ее в почве. Одним из способов предотвращения непродуктивных потерь влаги на склонах является контурно-полосная организация территории склона с чередованием



Рис. 4. Сток талых вод на зяби (а) и посевах озимой пшеницы (б), п. Рассвет, 2010 г.

Fig. 4. Runoff of meltwater in the swell (a) and winter wheat crops (b), Rassvet, 2010

в полосах эрозионно устойчивых и неустойчивых культур или чередование почвозащитной обработки почвы и отвальной вспашки. Об эффективности противоэрозионных обработок почвы говорится в работах многих авторов (Борин, Лощинина, 2018; Гаевая, 2016; Подлесных, Соловьева, 2020).

Различные по конструкции и по соотношению культур в структуре посевов севооборота имеют различные показатели по стоку талой воды. Эти параметры существенно отличаются от аналогичных показателей при сплошном размещении культур на склонах, когда все поле занимает монокультурой или зябью. Вместе с тем эрозионная устойчивость изучаемых севооборотов неодинакова, поскольку она различна для культур и чистого пара, входящих в состав конкретного севооборота. Целесообразное взаимное расположение в полосах культур и чистого пара способно в значительной мере сократить сток, а в отдельных случаях — и полностью приостановить.

Сток талой воды в первую очередь определяется запасом воды в снеге и интенсивностью снеготаяния. Вне изучаемых севооборотов на склоне той же крутизны, не имеющем почвозащитного комплекса, сток талой и ливневой воды в среднем составлял 18 мм, а в отдельных случаях достигал 34.4 мм (Ильинская и др., 2023).

Различные погодные условия в период таяния снега по-разному влияют на эрозионные процессы; при стремительном нарастании среднесуточных температур, интенсивном выпадении осадков в виде дождя и снега, а также существенных запасах воды в снеге, складываются предпосылки для стока талых вод. При постепенном нарастании среднесуточных температур происходит медленное таяние снега и частичное оттаивание верхнего слоя почвы. Также на процессы таяния снега оказывает влияние инсоляция, при которой часть снега испаряется и не участвует в стокообразовании (Шайдулина, 2022).

На зяблевых полях, подготовленных для посева яровых культур, где почва не защищена, потоки воды смывают с поверхности поля плодородный слой до

промерзшей почвы или до плужной подошвы. Наличие в севообороте 20 или 40% многолетних трав способно сократить, а в отдельных случаях полностью предотвратить сток талых вод. Многолетние травы, имея хорошо развитую корневую систему и достаточное количество растительных остатков на поверхности поля, способны надежно защитить почву от стока и смыва, в отличие от зяблевых полей. Еще одна культура, остающаяся зимовать на полях в южных регионах России, — это озимая пшеница, которая также защищает поверхность почвы от развития процессов эрозии. Однако ее способность противостоять смыву и размыву зависит от ряда факторов. Один из факторов — это условия перезимовки: при суровых зимах посеы могут частично вымерзнуть, и почва будет подвержена в большей степени эрозионным процессам. Другой фактор, влияющий на процессы стока и смыва, — это состояние развития растений или проективное покрытие, позволяющее полностью закрыть почву, а хорошее развитие корневой системы способно надежно скрепить почву, предотвращая смыв и размыв. Поэтому правильно сконструированный севооборот позволяет надежно защищать эрозионные участки от процессов эрозии.

Для изучения эрозионной устойчивости склонов за контрольный вариант был взят полевой севооборот «А», в структуру посевных площадей которого входило 20% чистого пара, 20% пропашных культур и 60% колосовых культур. Эрозионная устойчивость других севооборотов была сопоставлена с севооборотом «А» (табл. 1).

В севооборотах при контурно-ландшафтной организации склона и полосном размещении культур, при использовании отвальной обработки почвы величина стока талой воды определялась в значительной мере соотношением эрозионно устойчивых и неустойчивых культур. За период исследований наибольший сток воды 17.3–22.7 мм зарегистрирован в севообороте «А» с 20% чистого пара, не имеющем в структуре посевных площадей многолетних трав в вариантах почвозащитной и

Таблица 1. Талый сток в зависимости от конструкции севооборота и способа обработки почвы, мм, 1992–2024 гг.

Table 1. Melt runoff depending on the design of crop rotation and the method of tillage, mm, 1992–2024

Способ обработки почвы	Севооборот					
	«А»: 20% чистого пара и 0% многолетних трав		«Б»: 0% чистого пара и 20% многолетних трав		«В»: 0% чистого пара и 40% многолетних трав	
	сток	К _{стока}	сток	К _{стока}	сток	К _{стока}
Отвальная	22.7 ± 1.7	0.32	13.3 ± 1.3	0.18	9.5 ± 1.0	0.13
Чизельная	17.3 ± 1.0	0.25	10.5 ± 0.9	0.15	7.5 ± 1.0	0.11

отвальной обработки почвы. Введение в севооборот «В» 40% многолетних трав в структуру посевов и применение чизельной обработки позволило сократить сток более чем в два раза (7.5–9.5 мм; $p < 0.05$). Севооборот «Б» с 20% многолетних трав занимал промежуточное положение, а сток был ниже на 39.3–41.4% (10.5–13.3 мм; $p < 0.05$), чем в севообороте с 20% чистого пара, и больше на 28.6%, чем в севообороте с 40% многолетних трав в структуре посевов. В севообороте с 40% многолетних трав в структуре посевов отмечена наибольшая эрозионная устойчивость, чем в севообороте без многолетних трав, соответственно ниже были потери гумуса и элементов минерального питания.

Во все годы контурно-полосная организация территории склона и чередование в полосах устойчивых и неустойчивых к эрозии культур позволили и территориально, и по силе проявления значительно сократить эрозионные процессы. Более защищенными полосы чистого пара и озимой пшеницы оказались не только в отношении сплошного размещения парового поля, но и в отношении сплошного размещения озимой пшеницы, очевидно, потому, что часть воды поглощалась полосами чистого пара, имеющими в летнее время высокую водопроницаемость.

Моделирование процессов талого стока

Анализ результатов исследования с использованием многомерных графиков позволяет найти нелинейные и немонотонные зависимости между переменными (Statistica 13.3). Были проанализированы средняя температура и сумма осадков периода снеготаяния. В Северном Приазовье пе-

риод снеготаяния наступает в конце февраля или начале марта. В этот период, по нашим исследованиям, сумма осадков колебалась в пределах от 2 до 105 мм, а среднесуточная температура была минимальная (минус 1.1 °С), максимальная +4.7 °С. При этих условиях фактический сток изменялся от 1.0 до 44.8 мм (рис. 5).

В результате анализа были выявлены следующие закономерности: при увеличении количества осадков периода снеготаяния с 45–50 до 50–70 мм и увеличении значений средней температуры воздуха отмечается увеличение стока в почвозащитных севооборотах. В полевом севообороте с наличием 20% чистого пара среднегодовой сток составлял 15–20 мм при среднесуточной температуре 1.5–2 °С. В почвозащитных севооборотах с различными долями многолетних трав интенсивный сток начинается при более высоких значениях среднесуточной температуры воздуха периода снеготаяния 2–4 °С. В севообороте с 20% многолетних трав максимальный сток (10–15 мм) отмечался при температуре 3–4 °С, а в севообороте с долей многолетних трав 40% сток не превышал 12 мм при увеличении температуры до 5–6 °С. В севообороте с повышенной долей многолетних трав сток талых вод намного меньше, чем в полевом севообороте. Здесь проявляется почвозащитное действие многолетних трав, и излишняя влага впитывается в оттаявшую почву при более высокой температуре.

Характеристика метеорологических условий формирования ливневого стока

Динамика метеорологических условий теплого периода года (апрель – август) повторяет тенден-

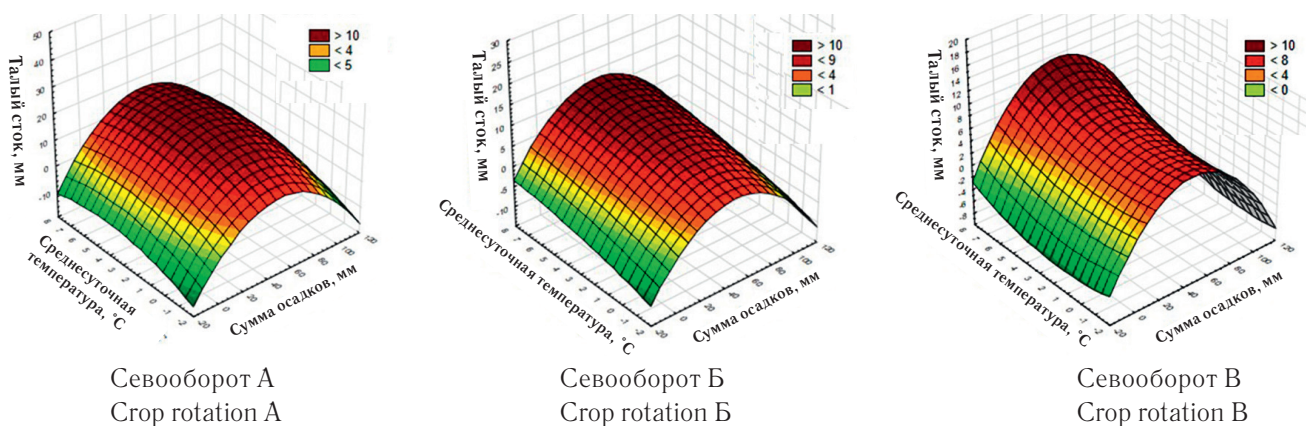


Рис. 5. Зависимость талого стока (мм) от среднесуточной температуры (°С) и суммы осадков периода снеготаяния (мм) в севооборотах различной конструкции, п. Рассвет, 1990–2023 гг.

Fig. 5. The dependence of melt runoff (mm) on the average daily temperature (°C) and the amount of precipitation during the snowmelt period (mm) in crop rotations of various designs, Rassvet, 1990–2023

Таблица 2. Показатели ливневого стока, 1992–2024 гг.**Table 2.** Indicators of stormwater runoff, 1992–2024

Показатель	Количество осадков за один ливень, мм	Интенсивность ливня, мм/мин	Сток, мм
Минимальный	20.2	1.01	7.5
Максимальный	53.5	2.33	44.4
Среднее	32.1	1.5	15.3

цию показателей в целом в течение года. Отмечено уменьшение количества осадков и нарастание среднесуточной температуры воздуха. В последние два десятилетия прошлого века в течение теплого периода года выпадало в среднем на 12.9 мм (6.5%) осадков больше среднемноголетней нормы. С начала XXI в. отклонение от среднемесячной нормы в сторону уменьшения составляет 43.8 мм (22.1%). Однако с уменьшением количества среднемесячных осадков в последние десятилетия наблюдается увеличение количества экстремальных ливней (Голосов, 2024). По нашим исследованиям, в период с 2000 по 2024 г. количество среднемесячных осадков, превышающих среднемноголетнюю норму в 1.5–2 раза, увеличилось на 56–71% по сравнению с прошлым веком. Столь неравномерное распределение осадков на фоне уменьшения в остальные месяцы теплого периода года создает предпосылки для формирования летнего стока (рис. 6).

Температурный режим в течение теплого периода года, наоборот, увеличился. Так, если в конце 80–90-х гг. прошлого века среднесуточная температура была незначительно ниже, на 0.37 °C (1.8%), среднемноголетних значений, то в последующие двадцать лет превышение составило 1.8 °C (8.4%).

В течение длительного периода наблюдений с 1990 по 2023 г. было сравнительно немного ливней с большим количеством осадков и высокой интенсивностью их выпадения. Осадки, выпадающие с небольшой интенсивностью, при сильно высушенном верхнем слое почвы, повышенной эрозионной опасности не представляли. Интенсивность ливня явилась основным показателем, определяющим эрозионную значимость (табл. 2).

Если в последние 3–5 лет эрозионных процессов в период таяния снега либо совсем не отмечено, либо они не носили разрушительный характер, то смывы и размывы ливневой водой имели место.

**Рис. 6.** Отклонение от нормы суммы осадков (мм) и среднесуточной температуры воздуха (°C) теплого периода года (май – август), п. Рассвет, 1981–2024 гг.**Fig. 6.** Deviation from the norm of precipitation (mm) and average daily air temperature (°C) during the warm season (May-August), Rassvet, 1981–2024

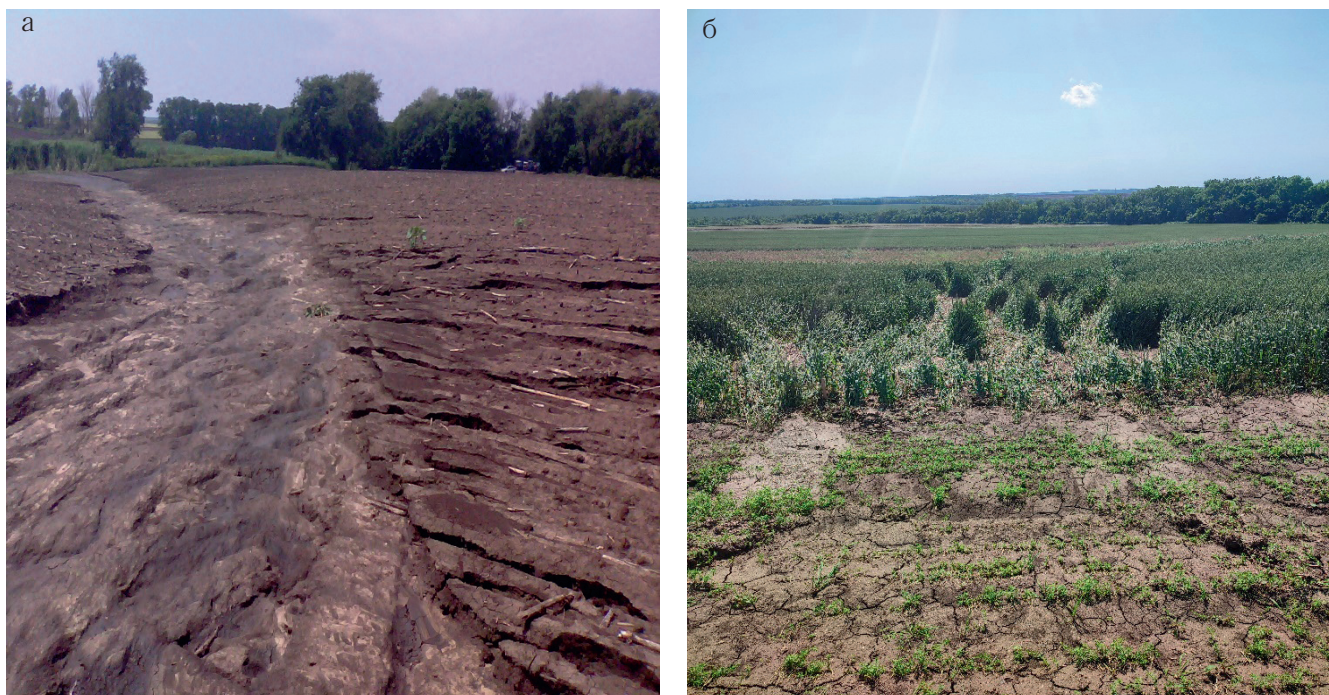


Рис. 7. Сток ливневых вод при сплошном размещении чистого пара (а) и полосном размещении озимых и яровых культур (озимая пшеница и масличный лен) (б), п. Рассвет, 2023 г.

Fig. 7. Stormwater runoff with continuous placement of pure steam (a) and striped placement of winter and spring crops (winter wheat and oilseed flax) (b), Rassvet, 2023

Причем ливневые осадки были не слишком велики, но отмечалась их высокая интенсивность. За последние тридцать лет выявлено снижение суммы атмосферных осадков в ряде зон Ростовской области и увеличение аридности климата. При этом выпадение осадков носит неравномерный характер (Bezuglova et al., 2022). В некоторые месяцы осадки вообще отсутствуют, а в другие месяцы их сумма в два-три раза больше среднемесячной нормы. Ливневый характер выпадения осадков способствует развитию эрозионных процессов на склоновых землях (рис. 7).

Наблюдения за интенсивностью ливней выявили большой разброс в значениях от 1.01 до 2.33 мм/мин. Наибольший сток был отмечен в 1997 г. и составлял 44.4 мм. При этом сток воды зависел в меньшей степени от интенсивности ливней ($r = 0.36$), чем от суммы выпавших осадков ($r = 0.57$), имеющих среднюю тесноту связи. Этот факт еще раз подтверждает, что эрозионные процессы начинают проявляться при низкой водопроницаемости и полной влагоемкости почвы, когда избыточное количество воды не успевает впитываться и стекает вниз по склону, унося с собой плодородный слой почвы.

Моделирование процессов ливневого стока

Выявлена прямая зависимость летнего стока от интенсивности ливня и суммы выпавших осадков. При складывающихся условиях (плотность, водопроницаемость, влажность почвы) максимальный сток ливневых вод был отмечен при сумме осадков 53.5 мм (табл. 2, рис. 8). Количество смытой почвы напрямую зависит от стока и величины осадков за один ливень. Сток колеблется в пределах от 7.5 до 44.4 мм, а количество за один ливень 20.2–53.5 мм.

Во все годы исследований контурно-ландшафтная организация территории склона и чередование в полосах устойчивых и неустойчивых к эрозии культур позволили и территориально, и по интенсивности проявления сократить эрозионные процессы. Более защищенными полосы чистого пара и озимой пшеницы оказались не только в сравнении со сплошным его размещением, но и в сравнении с полосным размещением озимой пшеницы, поскольку часть воды поглощалась полосами чистого пара, имеющими в летнее время высокую водопроницаемость.

В результате изменений климата в последние десятилетия меняются и процессы стокообразования. Малоснежные и относительно теплые зимы

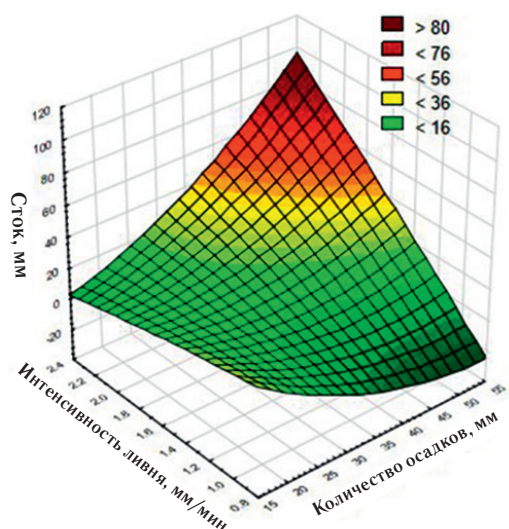


Рис. 8. Зависимость ливневого стока (мм) от интенсивности ливня (мм/мин) и количества осадков, выпавших за один ливень (мм), п. Рассвет, 1990–2023 гг.

Fig. 8. Dependence of stormwater runoff (mm) on intensity of the downpour (mm/min) and the amount of precipitation in one downpour (mm), Rassvet, 1990–2023

отражаются на темпах стока талых вод со склонов вплоть до полного его отсутствия в отдельные годы. Увеличение экстремально опасных ливней в последние десятилетия приводит к увеличению ливневого стока. Однако спектр противоэрозионных мероприятий, таких как организация территории склона, применение почвозащитных севооборотов и способов обработки почвы, проективное покрытие почвы культурами сплошного сева, регулирование водного режима агрочерноземов за счет физических свойств и др., позволяет сократить сток до безопасных пределов, а в отдельных случаях полностью его предотвратить.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Ростовской области в последние десятилетия наблюдается изменение климата, выражающееся в увеличении среднесуточной температуры воздуха на 1.6 °С и уменьшении слоя осадков на 30 мм в течение года. В период снеготаяния и теплый период года количество осадков уменьшилось на 20.0 и 22.1%, а среднесуточная температура воздуха более чем превышала среднемноголетнюю норму на 119.2 и 8.4% соответственно. Количество экстремальных осадков, превышающих среднемноголетнее значение в 1.5–2 раза, увеличилось на

56–71% по сравнению с прошлым веком. Отмечено уменьшение снежного покрова в последние годы, а также участились случаи малоснежных зим. Увеличение доли многолетних трав в структуре посевов почвозащитных севооборотов до 40% сокращает сток на 39.3–58.1%, а применение почвозащитной обработки почвы сокращает его на 21.0–23.7%. В результате проведения многомерного анализа установлено, что в почвозащитных севооборотах с различной долей многолетних трав интенсивный талый сток начинается при более высоких значениях среднесуточных температур воздуха 2–4 °С и 5–6 °С. Ливневый сток воды зависел в меньшей степени от интенсивности ливней, чем от суммы выпавших осадков. В условиях климатических изменений и использования почвозащитных технологий возделывания сельскохозяйственных культур отмечается перераспределение талого и ливневого стока. Применение контурно-полосной организации территории с чередованием в полосах рыхлой и уплотненной пашни позволяет регулировать свойства черноземов обыкновенных (плотность, водопроницаемость, полную влагоемкость почвы) и поглощать частично или полностью сток.

ЛИТЕРАТУРА

- Барабанов А.Т. Новый подход к прогнозированию склонового стока талых вод на сельскохозяйственных землях в бассейнах Волги и Дона // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 4(68). С. 21–30. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-04-02>.
- Барабанов А.Т. Формирование весеннего склонового стока на сельскохозяйственных землях лесостепной и степной зон Европейской части России // География и природные ресурсы. 2024. Т. 45, № 3. С. 113–119. <https://doi.org/10.15372/GIPR20240311>.
- Барабанов А.Т., Петелько А.И. Факторы склонового весеннего стока на серых лесных почвах в Центральной лесостепи // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2023. Т. 78, № 4. С. 18–27. <https://doi.org/10.55959/10.55959/msu0579-9414.5.78.4.2>.
- Борин А.А., Лощинина А.Э. Влияние различных систем обработки почвы на ее агрофизические свойства и урожайность культур севооборота // Агрофизика. 2018. № 3. С. 1–7. <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2018.03.01>.
- Гаева Э.А. Влияние тепловлагообеспеченности на эффективность использования почвенной влаги

озимой пшеницей, возделываемой на эрозионно опасных склонах Ростовской области // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. № 1(21). С. 155–167.

Гарцман Б.И., Шамов В.В., Губарева Т.С. и др. Условия формирования стока: комплексные исследования на экспериментальных водосборах в верховьях р. Уссури // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023. Т. 511, № 2. С. 261–267. <https://doi.org/10.31857/S2686739723600777>.

Голосов В.Н. Водная эрозия почв в условиях изменений климата и землепользования: современное состояние и прогноз // Эрозия почв и русловые процессы. 2024. № 1. С. 19–34. <https://doi.org/10.71367/3034-4638-2024-1-1-19-34>.

Изучение динамики поверхностного стока и смыва почвы в зависимости от крутизны и длины склонов. Методы исследования водной эрозии почв / Д.Д. Германюк. Кишинев, 1976. С. 158–164.

Ильинская И.Н., Полуэктов Е.В., Гаева Э.А., Батищев И.В., Тарадин С.А. Особенности формирования поверхностного стока талых вод на чернозёмах обыкновенных // Земледелие. 2023. № 6. С. 13–18. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-6-13-18>.

Климатические нормы, Гидрометцентр России: о погоде — из первых рук. <https://meteoinfo.ru/climacities>. (Дата обращения: 03.10.2025).

Методические рекомендации по учету поверхностного стока и смыва почвы при изучении водной эрозии. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 88 с.

Мустафаев Ж.С. Экологический профиль мелиорации сельскохозяйственных земель // Природообустройство. 2022. № 2. С. 13–22. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2022-2-13-22>.

Остроумова Л.П., Соловьева Л.Н. Сток воды, поступающей в Азовское море из устьевой области Кубани, под влиянием антропогенных и климатических факторов // Труды Государственного океанографического института. 2022. № 223. С. 79–99.

Подлесных И.В., Соловьева Ю.А. Новый подход в методологии формирования структуры севооборотов с учетом противозерозионной роли сельскохозяйственных культур // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 11. С. 21–25. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11103>.

Полуэктов Е.В., Балакай Г.Т. Особенности проявления эрозионных процессов при снеготаянии и выпадении ливневых дождей на юге России // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 1. С. 1–22. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-1-1-22>.

Полуэктов Е.В., Балакай Г.Т. Эрозия почв при выпадении ливней на юге европейской части России // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 2. С. 1–19. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-2-1-19>.

Сиуков С.С., Семененко С.Я. Поверхностный сток: глобальный и локальный аспекты // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 1(79). С. 173–183. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2025-01-18>.

Титкова Т.Б., Виноградова В.В. Сроки залегания снежного покрова на территории России в начале XXI в. По спутниковым данным // Лёд и Снег. 2017;57(1):25-33. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-1-25-33>

Ушаков А.Е., Серeda Т.А. Анализ взаимосвязей негативных последствий эрозии почв сельскохозяйственных угодий. Обзор методов ее снижения // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14. № 2. С. 186–210. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-186-210>.

Чеботарев Н.П. Вариация стока и его факторов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2022. № 2. С. 146–147. <https://doi.org/10.17308/geo.2022.2/9322>.

Шайдулина А.А. Расчеты поступления солнечной радиации на склоны в период снеготаяния // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2022. № 1. С. 50–58. <https://doi.org/10.17308/geo.2022.1/9085>.

Bezuglova O.S., Ilyinskaya I.N., Zakrutkin V.E., Nazarenko O.G., Litvinov Yu.A., Gayevaya E.A., Mezhenkov A.A., Zhumbey A.I. Dynamics of Land Degradation in Rostov Oblast. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2022; 86(1):41–54. <https://doi.org/10.31857/S2587556622010034> (In Russ.)

Li Z., Xu W., Li H. et al. Runoff contribution of spring snowmelt in the source region of the Yangtze River and its variation characteristics // *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2025. Vol. 58. P. 102295. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102295>.

Qinghua L., Changhao Z., Jian T. et al. Experimental Study on the Mechanism of Artificial Runoff Generation on Typical Slopes in Farmland of North China // *Hydrological Processes*. 2025. Vol. 39. <https://doi.org/10.1002/hyp.70078>.

StatSoft, Inc. STATISTICA (Data Analysis Software System), Version 13. 2020. Available online: <https://web.archive.org/web/20131213145004/> (Дата обращения: 6 октября 2025 г.)

Wang G., Zhang K., Zhang Z. Dynamics of snow-melt-induced erosion on typical sloping farmland in the Mollisol region of Northeast China // CATENA. 2025. Vol. 253. P. 108899.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.108899>.

Wang L., Zhang F., Chen Y. et al. Investigating climate change impacts on runoff and sediment transport processes in the midstream of the Yarlung Tsangpo river based on hydrological simulation // CATENA. 2025. Vol. 254. P. 108920.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.108920>.

Xiao Y., Jiang Q., Zhao W. et al. Disparity in soil erosion processes between freeze-thaw and unfrozen slopes under artificial rainfall conditions in high-altitude and dry valleys of the Southeast Tibet region // International Soil and Water Conservation Research. 2025. Vol. 13. (4). P. 828–842.

<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2025.05.009>.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания ФГБНУ ФРАНЦ FNFZ-2022–0003 «Разработать усовершенствованные эколого-адаптивные технологии возделывания новых сортов сельскохозяйственных культур в севооборотах различных конструкций Приазовской зоны Ростовской области».

ОБ АВТОРЕ

Эмма Анатольевна Гаевая – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории адаптивно-ландшафтного земледелия и защиты почв от эрозии Федерального Ростовского аграрного научного центра.

Адрес: 346735, Ростовская обл., Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская, 1. E-mail: emmaksay@inbox.ru

SURFACE RUNOFF OF MELTWATER AND STORMWATER FROM THE TERRITORY OF ORDINARY SLOPING CHERNOZEMS OF THE NORTHERN AZOV REGION IN A CHANGING CLIMATE

E.A. Gaevaya

Federal Rostov Agricultural Research Center, Rostov region, Aksai district, Rassvet settlement, Russia

Annotation. Soil erosion is one of the main factors in the degradation of chernozems, causing the greatest damage to agricultural land as a result of land development. The load on the soil has increased especially in recent decades, due to the intensification of agriculture, an increase in yield and a reduction in the return of nutrients to the soil, which led to a change in the physical properties of chernozems. Therefore, the purpose of the study was to study the intensity of runoff of meltwater and stormwater in crop rotations of various designs in the territory of sloping agro-chernozems in a changing climate. Field research was conducted in the Rostov region of Aksai district in a long-term field experiment to study crop rotations and tillage techniques in 1990–2024. The experimental site is located on an erosion-hazardous slope of the southeastern exposure with a steepness of up to 3.5–4°, the organization of the slope territory is a contour-landscape system. The soil cover of the site is represented by ordinary carbonate medium-washed medium-bulk low-humus heavy loam on loess-like loam. As a result of the changing climate, a change in runoff formation processes has been noted in recent decades. Climate change is manifested in an increase in the average daily air temperature and a decrease in precipitation, both throughout the year and during various periods of melt and storm runoff formation. There has been a decrease in snow cover in recent years or its absence in the fields, while the number of extreme downpours is increasing. The values of the average daily air temperatures at which intensive runoff begins have been established. The dependence of water runoff on the intensity of heavy rains and the amount of precipitation has been revealed. An increase in the share of perennial grasses in the crop structure of soil-protective crop rotations to 40% reduced runoff by 39.3–58.1%, and the use of soil-protective tillage by 21.0–23.7%. The use of anti-erosion measures such as the organization of the slope area, the use of soil-protective crop rotations and tillage methods, etc., can reduce runoff to safe limits, and in some cases completely prevent it.

Keywords: average daily air temperature, precipitation, snowmelt period, water supply in the snow, warm period, soil protection measures

REFERENCES

Barabanov A.T. The formation of spring slope runoff on agricultural lands of the forest-steppe and steppe zones of the European part of Russia // *Geografiya i prirodnye resursy*. 2024. Vol. 45, No 3. P. 113–119. <https://doi.org/10.15372/GIPR20240311>. (In Russ).

Barabanov A.T. A new approach to predicting the slope runoff of meltwater on agricultural lands in the Volga and Don basins // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2022. No 4(68). P. 21–30. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-04-02>. (In Russ).

Barabanov A.T., Petel'ko A.I. Factors of sloping spring runoff on gray forest soils in the Central forest-steppe // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*. 2023. Vol. 78, No 4. P. 18–27. <https://doi.org/10.55959/10.55959/msu0579-9414.5.78.4.2>. (In Russ).

Bezuglova O.S., Ilyinskaya I.N., Zakrutkin V.E., Nazarenko O.G., Litvinov Yu.A., Gayevaya E.A., Mezhenkov A.A., Zhumbey A.I. Dynamics of Land Degradation in Rostov Oblast // *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2022; 86(1): 41–54. <https://doi.org/10.31857/S2587556622010034> (In Russ.)

Borin A.A., Loshhinina A.E. The influence of various tillage systems on its agrophysical properties and crop yields // *Agrofizika*. 2018. No 3. P. 1–7. <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2018.03.01>. (In Russ).

Chebotarev N.P. Variation of runoff and its factors // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. 2022. No 2. P. 146–147. <https://doi.org/10.17308/geo.2022.2/9322>. (In Russ).

Gaevaya E.A. Influence of heat and moisture availability on the efficiency of soil moisture use by winter wheat cultivated on erosively dangerous slopes of the Rostov region // *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii*. 2016. No 1(21). P. 155–167. (In Russ).

Garczman B.I., Shamov V.V., Gubareva T.S. et al. Conditions of runoff formation: comprehensive studies on experimental watersheds in the upper reaches of the Ussuri River // *Doklady Rossijskoj akademii nauk. Nauki o Zemle*. 2023. Vol. 511, No 2. P. 261–267. <https://doi.org/10.31857/S2686739723600777>. (In Russ).

Golosov V.N. Water erosion of soils in conditions of climate change and land use: current state and forecast // *Eroziya pochv i ruslovnye processy*. 2024. No 1. P. 19–34.

<https://doi.org/10.71367/3034-4638-2024-1-1-19-34>. (In Russ).

Ilyinskaya I.N., Poluektov E.V., Gaevaya E.A. Batischev I.V., Taradin S.A. Features of the formation of surface runoff of meltwater on ordinary chernozems // *Zemledelie*. 2023. No 6. P. 13–18.

<https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-6-13-18>. (In Russ).

Study of the dynamics of surface runoff and soil washout depending on the steepness and length of slopes. Methods of investigation of water erosion of soils / D.D. Germanyuk. Kishinev, 1976. P. 158–164. (In Russ).

Climatic norms, Hydrometeorological Center of Russia: first-hand information about the weather. <https://meteoinfo.ru/climatecities>. Accessed 03/10/2025. (In Russ).

Li Z., Xu W., Li H. et al. Runoff contribution of spring snowmelt in the source region of the Yangtze River and its variation characteristics // *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2025. Vol. 58. P. 102295. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102295>.

Methodological recommendations on the consideration of surface runoff and soil flushing in the study of water erosion. L.: Gidrometeoizdat, 1975. 88 p. (In Russ).

Mustafaev Zh.S. Ecological profile of agricultural land reclamation // *Prirodoobustrojstvo*. 2022. No 2. P. 13–22. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2022-2-13-22>. (In Russ).

Ostroumova L.P., Solov'eva L.N. Runoff of water entering the Sea of Azov from the mouth of the Kuban region under the influence of anthropogenic and climatic factors // *Trudy Gosudarstvennogo okeanograficheskogo instituta*. 2022. No 223. P. 79–99. (In Russ).

Podlesnyx I.V., Solov'eva Yu.A. A new approach to the methodology of forming the structure of crop rotations, taking into account the anti-erosion role of agricultural crops // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2020. Vol. 34, No 11. P. 21–25.

<https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11103>. (In Russ).

Poluektov E.V., Balakaj G.T. The threat after assuming office of the Libyan Republic of Russia // *Melioraciya i gidrotexnika*. 2022. Vol. 12, No 2. P. 1–19. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-2-1-19>. (In Russ).

Poluektov E.V., Balakaj G.T. Features of the manifestation of erosive processes during snowmelt and heavy rains in the south of Russia // *Melioraciya i gidrotexnika*. 2025. Vol. 15, No 1. P. 1–22. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-1-1-22>. (In Russ).

Qinghua L., Changhao Z., Jian T. et al. Experimental Study on the Mechanism of Artificial Runoff Generation on Typical Slopes in Farmland of North China // *Hydrological Processes*. 2025. Vol. 39. <https://doi.org/10.1002/hyp.70078>.

Shajdulina A.A. Variation of runoff and its factors // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. 2022. No 1. P. 50–58.

<https://doi.org/10.17308/geo.2022.1/9085>. (In Russ).

Siukov S.S., Semenenko S.Ya. Surface runoff: global and local aspects // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2025. No 1(79). P. 173–183. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2025-01-18>. (In Russ).

StatSoft, Inc. STATISTICA (Data Analysis Software System), Version 13. 2020. Available online: <https://web.archive.org/web/20131213145004/> (Accessed: 06.10.2025)

Titkova T.B., Vinogradova V.V. The timing of the occurrence of snow cover in Russia in the early 21st century. According to satellite data // *Lyod i Sneg*. 2017; 57(1) P. 25–33.

<https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-1-25-33>. (In Russ).

Ushakov A.E., Sereda T.A. Analysis of interrelations of negative effects of soil erosion of agricultural lands. An overview of methods for reducing it // *Melioraciya i gidrotexnika*. 2024. Vol. 14. No 2. P. 186–210. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-186-210>. (In Russ).

Wang G., Zhang K., Zhang Z. Dynamics of snow-melt-induced erosion on typical sloping farmland in the Mollisol region of Northeast China // *CATENA*. 2025.

Vol. 253. P. 108899.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.108899>.

Wang L., Zhang F., Chen Y. et al. Investigating climate change impacts on runoff and sediment transport processes in the midstream of the Yarlung Tsangpo river based on hydrological simulation // *CATENA*. 2025. Vol. 254. P. 108920.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.108920>.

Xiao Y., Jiang Q., Zhao W. et al. Disparity in soil erosion processes between freeze-thaw and unfrozen slopes under artificial rainfall conditions in high-altitude and dry valleys of the Southeast Tibet region // *International Soil and Water Conservation Research*. 2025. Vol. 13. (4). P. 828–842.

<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2025.05.009>.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was conducted under a state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project number FNFZ-2022–0003 entitled “Develop Improved Ecologically Adaptive Technologies for Cultivating New Varieties of Crops in Crop Rotations of Various Designs of the Azov Zone of the Rostov Region”.

ABOUT THE AUTHOR

Emma Anatolyevna Gaevaya is a Candidate of Biological Sciences, a leading researcher at the Laboratory of Adaptive Landscape Agriculture and Soil Erosion Protection at the Federal Rostov Agricultural Research Center.

Address: 346735, Rostov region, Aksai district, Rassvet settlement, Institutskaya str., 1.

E-mail: emmaksay@inbox.ru

ЭРОЗИЯ ПОЧВ И РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

№ 4. 2025

Формат обрезной 204x285

Объем 112 с.

Бумага офсетная

Печать цифровая

Тираж 25 экз.