Оригинальное исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-155-170

Е.С. Дорогая[1], Р.Р. Сулейманов[1], И.Ю. Сайфуллин[2], А.О. Миннегалиев[2], С.В. Зайкин[1]

[1] Уфимский институт биологии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра РАН, 450054 г. Уфа, Российская Федерация

[2] Башкирский государственный университет, 450076 г. Уфа, Российская Федерация

Эрозионная устойчивость целинного чернозема и чернозема с классическим и No-Till видами обработки в условиях моделируемого сильного ливня

Глобальные климатические изменения стали причиной увеличения силы, частоты и продолжительности экстремальных осадков. Это повышает риски развития эрозии сельскохозяйственных земель в результате увеличения доли поверхностного стока. В лабораторных условиях проведена оценка скорости возникновения стока и интенсивности эрозии монолитных образцов почв, отобранных с трех близкорасположенных участков, отличающихся методом землепользования: с классической обработкой, No-Till обработкой и целинными землями. Опыты провели на дождевальной установке с установленным уровнем орошения, соответствующим природному сильному ливню в течение 30 минут при трех углах уклона: 1°, 3° и 7°. Наибольшая степень смыва почв установлена у образцов с классической

© Дорогая Е.С., Сулейманов Р.Р., Сайфуллин И.Ю., Миннегалиев А.О., Зайкин С.В., 2022
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

обработкой почвы, наименьшая – у целинных земель. Подверженность водной эрозии почв с No-Till обработкой сильно зависит от угла уклона и существенно снижается при его увеличении, но имеет более высокие значения, чем для почв с классической обработкой. Устойчивость к эрозии почв с No-Till обработкой при угле наклона почвы 1° в 3,6 раз ниже, чем для целины, и в 4,2 раза выше, чем для почвы с классической обработкой; при угле наклона 3°– в 3,6 раз ниже, чем для целины, и в 8,2 раза выше, чем для почвы с классической обработкой; при угле наклона 7°– в 9,3 раз ниже целины и в 4,2 раз выше, чем у почв с классической обработкой.

Ключевые слова: экстремальные осадки, эрозия почв, No-Till, устойчивость к эрозии почв, метод землепользования

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-00326-19-00 по теме № АААА-А18-118022190102-3.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Эрозионная устойчивость целинного чернозема и чернозема с классическим и No-Till видами обработки в условиях моделируемого сильного ливня / Дорогая Е.С., Сулейманов Р.Р., Сайфуллин И.Ю. и др. // Социально-экологические технологии. 2022. Т. 12. № 2. С. 155–170. DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-155-170

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-155-170

E.S. Dorogaya[1], R.R. Suleymanov[1], I.Yu. Saifullin[2], A.O. Minnegaliev[2], S.V. Zaikin[1]

[1] Ufa Institute of Biology – Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
Ufa, 450054, Russian Federation

[2] Bashkir State University,
Ufa, 450076, Russian Federation

Erosion resistance of virgin chernozem and chernozem with classical and No-Till types of cultivation under the conditions of simulated heavy rainfall

Global climatic changes have caused an increase in the severity, frequency and duration of extreme precipitation, which increases the risks of erosion of agricultural land as a result of an increase in the share of surface runoff. Under laboratory conditions, an assessment was made of the rate of runoff and the intensity of erosion of monolithic soil samples taken from three closely located plots that differ in the method of land use: with classical tillage, No-Till, and virgin lands. The experiments were carried out on a sprinkler with a set irrigation level corresponding to a natural heavy rainfall for 30 minutes at three slope angles: 1°, 3° and 7°. The highest degree of soil washout was found in samples with classical tillage, and the lowest in virgin lands. The susceptibility to water erosion of soils with No-Till treatment strongly depends on the slope angle and decreases significantly with its increase but has higher values than for soils with classical treatment. Depending on the slope angle, soil erosion resistance with No-Till is 3.6 times lower than for virgin lands and 4.2 times higher than for classical tillage at 1°, 3.6 times lower than for virgin lands and 8.2 times higher than for classical processing at 3°, and at 7°– 9.3 times lower than virgin soil and 4.2 times higher than classical treatment.

Key words: extreme precipitation, soil erosion, No-Till, resistance to soil erosion, land use method

Acknowledgments. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 075-00326-19-00 on the topic No. AAAA-A18-118022190102-3.

FOR CITATION: Dorogaya E.S., Suleymanov R.R., Saifullin I.Yu. et al. Erosion resistance of virgin chernozem and chernozem with classical and No-Till types of cultivation under the conditions of simulated heavy rainfall. *Environment and Human*: *Ecological Studies*. 2022. Vol. 12. No. 2. Pp. 155–170. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-155-170

Введение

Стремительное изменение климата на планете ведет к увеличению числа экстремальных погодных явлений. Оценка интенсивности, частоты и продолжительности осадков, проведенная для разных частей земного шара, привела к неутешительным выводам о тенденции к увеличению количества экстремальных осадков и их большей силе и частоте в сочетании с периодами сильной засухи в долгосрочном прогнозе [Li et al., 2019; Hosseinzadehtalaeia, Tabaria, Willems, 2020; Marras et al., 2021]. Для сельскохозяйственной практики такие изменения означают увеличение развития почвенной эрозии [Папцов, Шеламова, 2018; Zhao et al., 2021]. В связи с этим необходимо более тщательное изучение воздействия меняющейся окружающей среды на существующие методы землепользования.

Республика Башкортостан входит в число сельскохозяйственных регионов Российской Федерации, поэтому исследование эрозионной устойчивости почв здесь является актуальным вопросом [Эродированные почвы…, 2015; Атмосферная циркуляция…, 2018]. Кроме того, изучение климатических изменений данной местности за последние десятилетия выявило увеличение длительности засушливых периодов и повышение повторяемости аномальных осадков [Галимова, Переведенцев, Яманаев, 2019; Галимова, 2020]. Подобное чередование засухи и интенсивного орошения увеличивает степень как ветровой, так и водной эрозии почв, при этом водная эрозия повышается также за счет большей эрозии разбрызгивания и разрушения макроагрегатов при повышении скорости падения и увеличении размера капель [Fu et al., 2017].

К настоящему времени разработано множество практик ведения сельского хозяйства, способствующих снижению эрозионного влияния

окружающей среды на обрабатываемые земли [Liu et al., 2019; Wells et al., 2019; Эффективность технологии прямого посева…, 2020; Влияние способов посева…, 2020; Du et al., 2021]. Известно, что одним из эффективных методов является применение технологии No-Till (NT). За счет сохранения целостности поверхности почвенного покрова и почвенных агрегатов, большей структурированности и влагопрочности почв в результате увеличения содержания гумуса при накопления органического углерода из пожнивых остатков, метод NT-обработки показывает хорошие результаты в уменьшении времени образования поверхностного стока и выноса с ним почвенных частиц, что снижает влияние осадков на появление почвенной эрозии [Ferreira et al., 2020; Carretta et al., 2021; Du et al., 2021].

Проведенные в данной работе исследования направлены на оценку воздействия сильного продолжительного ливня на скорость и интенсивность эрозии сельскохозяйственных земель, обрабатываемых с помощью технологии NT на территории Абзелиловского района Республики Башкортостан. Эксперименты проводились в лабораторных условиях на дождевальной установке. Для сравнительного анализа показателей использовались пробы почв с трех участков, находящихся в практически одинаковых природно-климатических условиях, но с разными типами землепользования: пашня с классической обработкой почв, земли с системой обработки No-Till и целинная степь. Формирование стока поверхностных вод происходило при моделировании уклона в 1°, 3° и 7°, что соответствовало выположенному рельефу изучаемой местности, в которой преобладают уклоны земной поверхности менее 10° [Атлас Республики Башкортостан, 2005].

Объекты и методы

Отбор проб для лабораторного исследования проводился на территории сельскохозяйственного производственного кооператива «Красная Башкирия» в Абзелиловском районе Республики Башкортостан. Местность относится к Зауральской равнине Зауральской степной зоны Кизило-Уртазымской равнины. Характер рельефа равнинный с денудационно-аккумулятивным типом. Почвы представлены в основном черноземом обыкновенным на делювиальной почвообразующей породе, по механическому составу относящемуся к глинам и тяжелым суглинкам. Мощность гумусового горизонта достигает 40–50 см, со средним составом общего гумуса 7–8%. Почвы региона характеризуются слабой эродированностью с преимущественным проявлением ветровой и слабой водной эрозии. В земельном фонде преобладают пашни

(распаханность до 59,2%). Освоенность сельскохозяйственных почв – 82,2%, эродированность сельскохозяйственных угодий достигает значений 47,7% [Атлас Республики Башкортостан, 2005].

Климат исследуемой территории континентальный с жарким засушливым летом и холодной малоснежной зимой, большая часть осадков выпадает в теплое время года. Средние многолетние характеристики, определенные по метеостанции Верхнеуральск, за период 1966–2019 гг. составляют:

− среднегодовая температура воздуха 1,43 °C;
− годовая сумма осадков 403,74 мм;
− годовая сумма жидких осадков 292,71 мм[1].

Известно, что скорость проявления и интенсивность эрозии зависят от свойств почв, климатических условий района расположения, угла уклона участка и растительности [Pan et al., 2017; Гочияева, Гедиев, Токова, 2018; Zhou et al., 2019; Nicosia et al., 2020; de Almeid et al., 2021; Sun et al., 2021].

С целью минимизации различий во влиянии этих факторов на почвы в проведенном исследовании анализировались близкорасположенные участки, формирование почв на которых происходит в практически одинаковых природно-климатических условиях. Кроме того, почвы всех участков имели сходный гранулометрический состав, тяжелосуглинистую структуру и содержание общего гумуса, соответствующее показателям высокой обеспеченности [Кирюшин, 1996]: 6,34% для почв с классической обработкой, 6,48% для почв NT-обработкой и 8,84% для целины.

Для сельскохозяйственных земель кроме перечисленных существует также антропогенный фактор влияния на развитие эрозионных нарушений, который зависит от типа и метода управления сельхозугодьями [Оценка состояния агрочерноземов…, 2014].

Проведена оценка влияния типа землепользования на скорость и интенсивность эрозии с помощью модельных опытов по искусственному орошению. В качестве образцов использованы монолиты почв пахотного горизонта (0–20 см), помещенные в пластиковые лотки длинной 1 м, высотой 0,2 м и шириной 0,15 м. Пробы почв отбирались со следующих участков:

− с классической обработкой почв, зернопропашного севооборота: выровненная часть пологого склона, на момент отбора проб почв поле

[1] Специализированные массивы для климатических исследований. URL: http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index.xhtml (дата обращения: 06.11.2021).

было вспахано после сбора урожая подсолнечника, почва – чернозем обыкновенный;

- участок с NT-обработкой с 1991 г.: выровненная часть слабопологого склона, на момент отбора проб почв с поля был убран урожай пшеницы (*Triticum acstivum* L.), на поверхности оставлена стерня, почва – чернозем обыкновенный;
- целина: выровненная часть слабопологого склона, степь Заволжско-казахстанско-разнотравно-дерновинного типа растительности, представленной ковылем Залесского, овсецом пустынным, типчаком и осокой приземистой, почва – чернозем обыкновенный.

Для каждого участка отобрано по три монолита почв, которые затем высушивались до воздушно-сухого состояния.

Опыты проведены в лабораторных условиях на дождевальной установке, подробная конструкция которой изложена в работе [Соболь, 2016] при углах наклона 1°, 3° и 7° и интенсивности полива 6–7 мм/мин. Время проведения занимало 30 минут с момента начала поверхностного стока. Длительность периода между временем начала опыта и началом поверхностного стока фиксировалась, т.к. время появления поверхностного стока является одним из основных показателей устойчивости почвы к эрозионному воздействию в случае водной эрозии. Большая продолжительность указанного периода соответствует большей эрозионной устойчивости. Изменение интенсивности эрозии в течение эксперимента определено отбором промежуточных проб смыва в начальный момент появления поверхностного стока (0 мин), через 3 и далее 5, 8, 15 и 30 (конец опыта) минут. Пробы отбирались в бюксы известного объема и массы, высушивались в сушильном шкафу при температуре 90 °С и взвешивались, затем рассчитывалась концентрация смытых частиц в растворе (мутность), соответствующая определенному моменту от времени начала стока. Полученные в опыте данные подвергались статистической обработке и усреднялись по методике [Дмитриев, 1995].

Результаты и обсуждение

Проведено 27 опытов по искусственному орошению почв. Каждое сочетание типа участка и угла уклона исследовано в трех повторностях. С увеличением угла уклона время начала смыва сокращается для всех исследуемых участков, при этом поверхностный сток практически во всех случаях (кроме уклона 3°, когда для почв с NT и классической обработкой сток начинается одновременно) раньше всего начинается на участке с классической обработкой почвы и позже всего – на целинных

участках. NT-пробы имеют среднее время начала смыва, т.е. большую устойчивость к эрозионному воздействию, чем пашня, но меньшую, чем целина, причем с увеличением угла уклона устойчивость снижается, лишь ненамного превосходя показатели смыва с пашни: равные значения при угле наклона 3°, на полминуты позже – при 7° (табл. 1).

Таблица 1

Усредненные значения результатов опытов по искусственному орошению почв [Average values of the results of experiments on artificial soil irrigation]

Тип почвы [Soil type]	Угол уклона, град. [Slope angle, degr.]	Время начала стока, мин [Runoff start time, min]	Время отбора проб смыва с начала появления поверхностного стока, мин [Runoff sampling time from the onset of surface runoff, minutes]					
			0	3	5	8	15	30
			Мутность стока, г/л [Drainage turbidity, g/l]					
Почва с классической обработкой [Soil with classic tillage]	1	3	12,11	6,70	7,74	7,18	3,30	1,49
	3	2	30,33	10,95	13,62	7,94	5,85	2,86
	7	0,3	0,27	39,96	22,65	22,93	7,35	2,68
Почва с NT-обработкой [Soil with No-Till tillage]	1	4	0,69	0,83	4,91	0,80	1,19	0,80
	3	2	1,33	2,70	1,43	1,06	1,19	1,03
	7	0,8	15,25	1,81	1,41	0,57	3,20	0,57
Целина [Virgin soil]	1	5	0,53	0,47	0,41	0,41	0,37	0,37
	3	3	0,36	0,44	0,54	0,54	0,29	0,29
	7	2	0,50	0,49	0,34	0,37	0,40	0,34

Характер смыва для почв с классической обработкой имеет схожий характер при всех углах уклона. Максимальное количество смытого вещества наблюдается в начале стока: 0 минут для уклона 1° и 3° (12,11 и 30,33 г/л соответственно), и 3 минуты при уклоне 7° (39,96 г/л), затем незначительное увеличение мутности происходит ко времени смыва 5 минут (уклон 1° и 3°) и 8 минут (уклон 7°), после чего идет плавное снижение мутности до конца эксперимента.

Такие результаты можно объяснить тем, что в начальный момент времени, по-видимому, происходит смыв легких фракций почвы, которые дают существенные показатели мутности, и лишь немного позже наблюдается «добегание» более тяжелых почвенных фрагментов (5-я минута при 1° и 3° и 8-я минута при 7°).

Отличие в интенсивности смыва в начальный момент времени между уклонами в 1° и 3° от уклона в 7° можно объяснить очень ранним началом стока и большей степенью «шероховатости» почвы при большом угле уклона. Вероятно, почвенные частицы не могли двигаться в потоке воды с достаточной скоростью, поэтому в начальный момент времени происходит лишь смыв воды с небольшим количеством пыли. «Добегание» при уклоне 7° наблюдается немного позже и составляет наибольшее количество по массе к 3-й минуте стока (39,96 г/л). В целом степень смыва при переходе к уклону 3° увеличилась в 1,86 раз от смыва при 1° и в 1,34 раза от уклона 3° при переходе к уклону 7°, что свидетельствует о резком повышение уровня водной эрозии на образцах почвы с классической обработкой при 3°. При дальнейшем увеличении угла уклона степень смыва возрастает не так сильно, возможно, как из-за повышения «шероховатости» почвы, так и фактического уменьшения орошаемого покрытия [Sun et al., 2021].

Для образцов с целинными землями показатели мутности в зависимости от угла уклона уже не испытывали столь последовательных изменений. Наибольшие значения мутности в начальный момент времени имели только образцы, тестируемые при 1° и 7° (0,53 и 0,50 г/л соответственно), причем количество смытого вещества при уклоне в 1° было больше, чем при максимальном угле уклона в 7°. Вероятно, это также связано со временем начала стока, которое для угла уклона 1° начинается на 3 минуты позже, в результате чего почвенные фракции смываются более равномерно и достигают большей концентрации в растворе ко времени начала стока. Повышение «шероховатости» при увеличении угла уклона также может способствовать большему удержанию почвенных фракций на поверхности при уклоне 7°. В качестве подтверждения такой гипотезы нужно добавить, что если в продолжении стока мутность при наклоне 1° постепенно снижается, то при уклоне в 7° наблюдается постепенное повышение мутности между 8-й и 15-й минутами, которое можно объяснить «добеганием» смытых почвенных частиц. С другой стороны, при уклоне в 3° образцы с целинных участков имеют наибольшее количество смытого вещества ко времени стока 5–8 минут, причем вначале идет постепенное повышение мутности, максимум и затем такое же постепенное понижение мутности стока. Такие

результаты, скорее всего, получены из-за оптимального соотношения скорости начала стока и «шероховатости» поверхности почвенного образца, когда происходит постепенное накопление и продвижение почвенных частиц в растворе. Более того, согласно результатам опыта, такое соотношение является наиболее благоприятным для противодействия водной эрозии, т.к. степень смыва при переходе к участку с уклоном в 3° снижается и составляет 0,95 от степени смыва участка 1°. Образец с уклоном 7° имеет схожую степень смыва с образцом с уклоном 3°, что свидетельствует о высокой устойчивости целинных земель к водной эрозии даже при значительном угле уклона.

Образцы почв, отобранные с участков NT-обработки, имеют характер стока, отличный как от пашни, так и от целинных земель, а также различающийся между собой при разных углах уклона. Так, при уклоне 1° идет постепенное увеличение мутности стока с максимумом в 5 минут от начала стока (4,91 г/л), затем наблюдается резкое снижение количества смытого вещества (0,80 г/л на восьмой минуте), небольшой подъем (1,19 г/л в 15 минут) и ко времени окончания опыта – плавное снижение мутности. При уклоне 3° максимальная мутность наблюдается на третьей минуте смыва (2,70 г/л), затем плавное снижение и небольшое повышение в 15 минут и снова плавное снижение мутности ко времени окончания опыта. На уклоне 7° в начале стока зафиксировано максимальное количество смытого вещества (15,25 г/л). Затем мутность резко снижается к третьей минуте и в дальнейшем имеет характер постепенного уменьшения до 15 минут, когда зафиксирован небольшой подъем, и вновь снижение ко времени окончания опыта.

Вероятнее всего, такие результаты свидетельствуют о различной скорости накопления максимальной концентрации смытых частиц в стоке в зависимости от времени его начала и угла уклона образца, а последующее небольшое повышение мутности указывает на «добегание» накопленных частиц смыва. При этом степень смыва при угле уклона 3° снижается, как и в случае с образцами целины до 0,95 от степени смыва при уклоне 1°, но затем при уклоне 7° резко возрастает в 2,6 раза от степени смыва с уклоном 3°, что указывает на резкое снижение эрозионной устойчивости при повышении угла уклона выше 3°. Несмотря на столь сильное увеличение эрозии почв, образцы почвы с NT-обработкой даже при угле уклона 7° имеют более низкую степень смыва, чем образцы почв с классической обработкой при угле уклона 1° (в 1,7 раз ниже), а для соответствующих углов уклона разница составила: на 4,2 ниже для уклона 1°, в 8,2 раз ниже при 3° и в 4,2 раза ниже при уклоне 7° при NT-обработке почв, чем при классической.

Выводы

В результате проведенных исследований выявлено, что для всех образцов время стока сокращается при увеличении угла уклона. Установлено, что раньше всего поверхностный сток начинается на образцах почв с классической обработкой при углах 1° и 7° (3 и 0,3 минуты соответственно), и совпадает с пробами почв с NT-обработкой при 3° (2 мин).

Целинные земли показывают наибольшую устойчивость к эрозионному воздействию (начало стока на пятой, третьей и второй минуте при углах наклона 1°, 3° и 7° соответственно), почвы, обрабатываемые методом NT, – среднюю (на четвертой, второй минутах и менее чем через минуту (0,8 мин)).

Динамика смыва почв имеет схожий характер при всех углах уклона для почв с классической обработкой: максимальные уровни мутности в начальные моменты стока, несущественное повышение мутности на 5–8-й минуте и затем плавное уменьшение до конца эксперимента. Образцы с целинных участков имеют схожую динамику только при уклонах в 1° и 7°, причем при 1° после максимума мутность плавно снижается до конца опыта, а на уклоне в 7° наблюдается незначительное повышение между 8-й и 1-й минутами. При 3° для почвы с целинного участка в начале стока мутность постепенно повышается, достигает максимума между 5–8 минутами и затем постепенно снижается. Почвы участков с NT-обработкой имеют следующий характер стока: максимальная мутность на пятой, третьей минуте смыва и сразу после начала появления поверхностного стока в зависимости от угла уклона (1°, 3° и 7° соответственно), несущественный подъем мутности для всех углов уклона на 15-й минуте и постепенное снижение до конца опыта.

Наибольшую степень смыва имеют образцы почвы с классической обработкой, наименьшую – целинные. Степень подверженности водной эрозии почв с NT-обработкой по сравнению с двумя другими образцами в зависимости от угла уклона: при 1° в 3,6 раз выше, чем для целинных, но в 4,2 раза ниже почв с классической обработкой, при 3° – в 3,6 раз выше, чем для целинных, и в 8,2 раза ниже, чем для почв с классической обработкой, при 7° – в 9,3 раз выше целинных и в 4,2 раз ниже почв с классической обработкой.

Проведенные исследования показывают, что целинные земли имеют высокую степень устойчивости к водной эрозии даже при значительном угле уклона (до 7°), а почвы с классической обработкой наиболее подвержены водной эрозии, и степень эрозионных изменений существенно возрастает даже при небольшом увеличении угла уклона

(до 3°). Для почв с NT-обработкой степень устойчивости сильно зависит от угла уклона и существенно снижается при его увеличении, но при этом все же имеет более высокие значения, чем для почв с классической обработкой.

Библиографический список / References

Атлас Республики Башкортостан / Абдрахманов Р.Ф., Абзалов Р.М., Асфандияров А.З. и др. Уфа, 2005. [Abdrakhmanov R.F., Abzalov R.M., Asfandiyarov A.Z. et al. Atlas Respubliki Bashkortostan [Atlas of the Republic of Bashkortostan]. Ufa, 2005.]

Атмосферная циркуляция как фактор развития эрозионных процессов в башкирском Предуралье / Загитова Л.Р., Мустафин Р.Ф., Тестова В.А., Зубаиров Р.Р. // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 1 (54). С. 34–41. [Zagitova L., Mustafin R., Testova V., Zubairov R.. Atmospheric circulation as factor of development of erosion processes in Bashkir Preduraliye. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2018. No. 1 (54). Pp. 34–41. (In Rus.)]

Влияние способов посева сельскохозяйственных культур на интенсивность эрозионных процессов и урожайность сельскохозяйственных культур на склоновых землях Кабардино-Балкарской Республики / Тарчоков Х.Ш., Чочаев М.М., Матаева О.Х. и др. // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2020. № 5 (97). С. 5–19. [Tarchokov H., Chochaev M., Mataeva O. et al. Influence of ways of seeding agricultural crops on the intensity of erosion processes and yield of agricultural crops on slope lands of Kabardino-Balkarian Republic. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2020. No. 5 (97). Pp. 5–19. (In Rus.)]

Галимова Р.Г. Современный климатический режим атмосферных осадков на территории Республики Башкортостан // Географический вестник. 2020. № 2 (53). С. 111–119. [Galimova R. Modern climatic regime of precipitation in the territory of the Republic of Bashkortostan. *Geographical Bulletin*. 2020. No. 2 (53). Pp. 111–119. (In Rus.)]

Галимова Р.Г., Переведенцев Ю.П., Яманаев Г.А. Агроклиматические ресурсы Республики Башкортостан // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2019. № 3. С. 29–39. [Galimova R.G., Perevedentsev Yu.P, Yanaev G.A. Agro-climatic resources of the Republic of Bashkortostan. *Proceedings of Voronezh State University*. *Series*: *Geography*. *Geoecology*. 2019. No. 3. Pp. 29–39. (In Rus.)]

Гочияева З.У., Гедиев К.Т., Токова Ф.М. Влияние уклона местности на развитие корневой системы и эрозию почвы в зависимости от типа землепользования // Успехи современного естествознания. 2018. № 5. С. 33–39. [Gochiyaeva Z., Gediev K., Tokova F. Influence of the surface slope on the development of the root system and earth erosion in dependence on the type of land use. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2018. No. 5. Pp. 33–39. (In Rus.)]

Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М., 2008. [Dmitriev E.A. Matematicheskaya statistika v pochvovedenii [Mathematical statistics in soil science]. Moscow, 2008.]

Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. М., 1996. [Kiryushin V.I. Ekologicheskie osnovy zemledeliya [Ecological foundations of agriculture]. Moscow, 1996.]

Оценка состояния агрочерноземов Зауральской степи в условиях использования системы обработки почвы No-Till / Габбасова И.М., Сулейманов Р.Р., Хабиров И.К. и др. // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 6. С. 32–36. [Gabbasova I.M., Suleimanov R.R., Khabirov I.K. et al. Assessing the status of agro chernozems in Transurals steppe under conditions of soil treatment system No-Till. *Russian Agricultural Sciences*. 2014. No. 6. Pp. 32–36. (In Rus.)]

Папцов А.Г., Шеламова Н.А. Глобальная продовольственная безопасность в условиях климатических изменений. М., 2018. [Paptsov A.G., Shelamova N.A. Globalnaya prodovolstvennaya bezopasnost v usloviyakh klimaticheskikh izmenenii [Global food security in terms of climatic change]. Moscow, 2018.]

Соболь Н.В. Развитие эрозионных процессов в изменяющихся климатических условиях Южно-Уральского региона: Дис. … канд. биол. наук. Уфа, 2016. [Sobol N.V. Razvitie erozionnykh protsessov v izmenyayushchikhsya klimaticheskikh usloviyakh Yuzhno-Uralskogo regiona [Development of erosion processes in the changing climatic conditions of the South Ural region]. PhD dis. Ufa, 2016.]

Эродированные почвы Зауральской степной зоны и оценка их состояния в условиях изменения климата / Соболь Н.В. Габбасова И.М., Комиссаров М.А., Сулейманов Р.Р. // Известия Уфимского научного центра РАН. 2015. № 4 (1). С. 143–146. [Sobol N.V., Gabbasova I.M., Komissarov M.A., Suleimanov R.R. Eroded soils of the Trans-Ural steppe zone and assessment of their condition under climate change. *Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre*. 2015. No. 4 (1). Pp. 143–146. (In Rus.)]

Эффективность технологии прямого посева в борьбе с дефляцией и водной эрозией / Дридигер В.К., Белобров В.П., Антонов С.А. и др. // Сельскохозяйственный журнал. 2020. № 3 (13). С. 18–29. [Dridiger V., Belobrov V., Antonov S. et al. Efficiency of direct seeding technology in the fight against wind and water erosion. *Agricultural Journal*. 2020. No. 3 (13). Pp. 18–29. (In Rus.)]

Carretta L., Tarolli P., Cardinali A. et al. Evaluation of runoff and soil erosion under conventional tillage and no-till management: A case study in northeast Italy. *Catena*. 2021. No. 197. 104972.

de Almeid W.S., Seitz S., de Oliveira L.F.C., de Carvalho D.F. Duration and intensity of rainfall events with the same erosivity change sediment yield and runoff rates. *International Soil and Water Conservation Research*. 2021. No. 9. 69e75. DOI: 10.1016/j.iswcr.2020.10.004

Du X., Jian J., Du C., Stewart R.D. Conservation management decreases surface runoff and soil erosion. *International Soil and Water Conservation Research*. 2021. No. 306. DOI: 10.1016/j.iswcr.2021.08.001

Ferreira C., Neto E.C.S., Pereira M.G. et al. Dynamics of soil aggregation and organic carbon fractions over 23 years of no-till management. *Soil & Tillage Research*. 2020. No. 198. 104533.

Fu Y., Li G., Li B. et al. Splash detachment and transport of loess aggregate fragments by raindrop action. *Catena*. 2017. No. 150. Pp. 154–160.

Hosseinzadehtalaei P., Tabari H., Willems P. Climate change impact on short-duration extreme precipitation and intensity – duration – frequency curves over Europe. *Journal of Hydrology*. 2020. No. 590. 125249.

Li Z., Li X., Wang Y., Quiring S.M. Impact of climate change on precipitation patterns in Houston, Texas, USA. *Anthropocene*. 2019. No. 25. 100193.

Liu Y., Xin Y., Xie Y., Wang W. Effects of slope and rainfall intensity on runoff and soil erosion from furrow diking under simulated rainfall. *Catena*. 2019. No. 177. Pp. 92–100.

Marras P.A., Lima D.C.A., Soares P.M.M. et al. Future precipitation in a Mediterranean island and streamflow changes for a small basin using EURO-CORDEX regional climate simulations and the SWAT model. *Journal of Hydrology*. 2021. Vol. 603. Part B. 127025.

Nicosia A., Di Stefano C., Pampalonea V. et al. Testing a theoretical resistance law for overland flow under simulated rainfall with different types of vegetation. *Catena*. 2020. No. 189. 104482.

Pan D., Gao X., Dyck M. et al. Dynamics of runoff and sediment trapping performance of vegetative filter strips: Run-on experiments and modeling. *Science of the Total Environment*. 2017. No. 593–594. Pp. 54–64.

Suleymanov R., Zaykin S., Suleymanov A. et al. Changes in basic soil physical properties of agrochernozyems under no-till conditions. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*. 2020. Vol. 30. Pp. 963–972.

Sun L., Zhou J.L, Cai Q. et al. Comparing surface erosion processes in four soils from the Loess Plateau under extreme rainfall events. *International Soil and Water Conservation Research*. 2021. No. 9. Pp. 520–531.

Wells T., Hancock G.R., Martinez C. et al. Differences in soil organic carbon and soil erosion for native pasture and minimum till agricultural management systems. *Science of the Total Environment*. 2019. No. 666. Pp. 618–630.

Zhao L., Fang Q., Hou R., Wu F. Effect of rainfall intensity and duration on soil erosion on slopes with different microrelief patterns. *Geoderma*. 2021. No. 396. 115085.

Zhou J., Fu B., Yan D. et al. Assessing the integrity of soil erosion in different patch covers in semi-arid environment. *Journal of Hydrology*. 2019. No. 571. Pp. 71–86.

Статья поступила в редакцию 22.01.2022, принята к публикации 17.02.2022
The article was received on 22.01.2022, accepted for publication 17.02.2022

Сведения об авторах / About the authors

Дорогая Екатерина Сергеевна – аспирант лаборатории почвоведения, Уфимский институт биологии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук

Ekaterina S. Dorogaya – postgraduate student at the Laboratory of Soil Science, Ufa Institute of Biology – Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation

ORCID: orcid.org/0000-0003-4553-1465
E-mail: ekaterina.s.dorogaya@gmail.com

Сулейманов Руслан Римович – доктор биологических наук; главный научный сотрудник лаборатории почвоведения, Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук

Ruslan R. Suleymanov – Dr. Hab. in Biology; Chief Researcher at the Laboratory of Soil Science, Ufa Institute of Biology – Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation

ORCID: orcid.org/0000-0002-7754-0406
E-mail: soils@mail.ru

Сайфуллин Ирик Юлаевич – кандидат биологических наук; доцент кафедры геодезии, картографии и географических информационных систем, Башкирский государственный университет, г. Уфа

Irik Yu. Saifullin – PhD in Biology; Associate Professor at the Department of Geodesy, Cartography and Geographic Information Systems, Bashkir State University, Ufa, Russian Federation

ORCID: orcid.org/0000-0003-2017-6516
E-mail: irekle@mail.ru

Миннегалиев Александр Олегович – старший преподаватель кафедры геологии, гидрометеорологии и геоэкологии, Башкирский государственный университет, г. Уфа

Aleksandr O. Minnegaliev – Senior Lecturer at the Department of Geology, Hydrometeorology and Geoecology, Bashkir State University, Ufa, Russian Federation

ORCID: orcid.org/0000-0001-7145-3419
E-mail: minnegaliev.aleksandr@rambler.ru

Зайкин Сергей Викторович – аспирант лаборатории почвоведения, Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук

Sergey V. Zaikin – postgraduate student at the Laboratory of Soil Science, Ufa Institute of Biology – Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation

ORCID: orcid.org/0000-0002-0873-5373
E-mail: zaykin.sergey.v@rambler.ru

Заявленный вклад авторов

Е.С. Дорогая – анализ данных, написание текста статьи

Р.Р. Сулейманов – проведение полевых работ, организация лабораторных исследований, участие в редактировании текста статьи

И.Ю. Сайфуллин – проведение лабораторных исследований

А.О. Миннегалиев – участие в анализе данных и написании текста статьи

С.В. Зайкин – проведение полевых работ

Contribution of the authors

E.S. Dorogaya – data analysis, writing the text of the article

R.R. Suleimanov – conducting field work, organizing laboratory research, editing the text of the article

I.Yu. Saifullin – laboratory research

A.O. Minnegaliev – participation in data analysis and writing the text of the article

S.V. Zaikin – field work

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи
All authors have read and approved the final manuscript