

УДК 631.459.2: 556.123
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-2-272-284
EDN ENYJVR

Анализ и оценка влияния ливневой деятельности на почвы агроландшафтов Томской области

Евсеева Н.С., Каширо М.А., Квасникова З.Н., Кужевская И.В.

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

nsevseeva@yandex, rumkashiro@yandexru, zojkwas@rambler.ru, i.kuzhevskaya@yandex.ru

Аннотация. Ливневая эрозия почв – это опасное явление, представляющее серьезную угрозу для окружающей среды и хозяйственной деятельности человека. В условиях глобального изменения климата с возрастанием общего количества осадков наблюдается непропорциональное увеличение ливневой опасности. Несмотря на имеющиеся публикации по воздействию ливней на почвы, современные исследователи выявляют существенный пробел в изучении и прогнозировании интенсивности и пространственно-временного распределения ливневых осадков. В статье на основе данных суточного разрешения об атмосферных осадках со станций Томск и Бакчар за последние 63 года выполнен анализ ливневой деятельности на территории южной части Томской области и проведена оценка влияния ливней на агроландшафты. Анализ данных показал усиление ливневой деятельности на исследуемой территории, начиная с 2017 г., в том числе и ливней со слоем более 30 мм/сут, опасных для эрозии почв. На основе полевых наблюдений за последствиями 20 ливней на пашне с разным агрофоном впервые получены данные об эрозионной работе: установлено, что наибольший урон пашне наносят ливни, выпадающие за 2–5 суток, зафиксирован смыл от 9–10 м³/га под посевами сельскохозяйственных культур до 40–100 м³/га под пропашными.

Ключевые слова: ливни, эрозия почв, агроландшафты, смыл почв, Томская область

Для цитирования: Евсеева Н.С., Каширо М.А., Квасникова З.Н., Кужевская И.В. 2026. Анализ и оценка влияния ливневой деятельности на почвы агроландшафтов Томской области. Региональные геосистемы, 50(2): 272–284. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-272-284 EDN: ENYJVR

Analysis of Rainfall Activity and Assessment of Its Effect on the Soils of Agricultural Landscapes in the Tomsk Region

Nina S. Evseeva, Margarita A. Kashiro, Zoya N. Kvasnikova, Irina V. Kuzhevskaya

National Research Tomsk State University

36 Lenin Ave., Tomsk 634050, Russia

nsevseeva@yandex, rumkashiro@yandexru, zojkwas@rambler.ru, i.kuzhevskaya@yandex.ru

Abstract. Storm erosion is a serious environmental and economic problem, posing a significant threat to soils and agricultural activities. With global climate change and an increase in total precipitation, the storm risk is disproportionately increasing. Despite the existing studies of the impact of rainfall on soils, forecasting the intensity and spatiotemporal distribution of rainfall remains a difficult task. The purpose of this study is to analyze rainfall patterns and assess their erosive potential in the agricultural landscapes of the southern regions of the Tomsk region. To achieve this goal, literary sources were studied, daily precipitation data from Tomsk and Bakchar stations for the period from 1960 to 2023 were analyzed, and field and desk observations of the effects of more than 20 downpours were conducted. The results showed that the storm activity in the studied area is focal and highly variable. It has been established that heavy rainfalls that occur over 2–5 days cause the greatest damage to arable land; soil loss has been recorded from 9–10 m³/ha under agricultural crops to 40–100 m³/ha under row crops. For an adequate assessment of storm activity, it is

necessary to use an integrated approach, including GIS technologies, aerial photography from unmanned aerial vehicles, and field observations. Computational methods allow us to obtain only a general, average picture of the processes taking place.

Keywords: heavy rains, soil erosion, agrolandscapes, soil washout, Tomsk region

For citation: Evseeva N.S., Kashiro M.A., Kvasnikova Z.N., Kuzhevskaya I.V. 2026. Analysis of Rainfall Activity and Assessment of Its Effect on the Soils of Agricultural Landscapes in the Tomsk Region. *Regional Geosystems*, 50(2): 272–284 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-2-272-284 EDN: ENYJVR

Введение

Ливни – опасное гидрометеорологическое явление, представляющее серьезную угрозу для хозяйственной деятельности человека. Они способны вызвать целый ряд негативных последствий, включая деградацию почвенного плодородия, вымокание и гибель посевов сельскохозяйственных культур, повышение уровня воды в реках, подтопление селитебных территорий, разрушение дорог и др., что приводит к значительным убыткам и экологическим проблемам.

В условиях меняющегося климата исследователи отмечают непропорциональное увеличение ливневой опасности в сравнении с возрастанием общего количества осадков, что наблюдается в разных частях планеты, в том числе и на территории России [Калинин и др., 2020; Botrelli et al., 2020; Ташилова, 2021; Володин, 2022; Мун и др., 2022; Гавриленко, 2023; и др.]. Согласно данным Ю.П. Переведенцева и др. [2021] в период с 1976 по 2019 годы на территории России наблюдался рост годового количества осадков, характеризующийся их увеличением на 2,2 % от нормы за десятилетие. Увеличение годовой суммы осадков, усиление ливневой опасности наблюдается и на территории центральной и южной частей Западно-Сибирской равнины [Евсеева и др., 2021; Чередыко и др., 2022].

Дождевая эрозия, вызывающая смыв в агроландшафтах, зависит от количества и интенсивности осадков, механических свойств почвы пашни, их микрорельефа и состояния агрофона. Исследования показали, что значительная эрозия оголенных поверхностей почвы начинается при осадках, превышающих 10 мм/сут на склонах крутизной более 3°, но особенно усиливается при осадках ≥ 30 мм/сут [Иванова, Бураков, 2020]. Вследствие вышесказанного изучение ливневой эрозии актуально, поскольку сравнение реальных темпов эрозии с ее допустимыми значениями – необходимая процедура как при проектировании противоэрозионных мероприятий, так и при долгосрочном планировании в землепользовании [Кузнецов, Глазунов, 2024].

Ливневая эрозия, в отличие от талой снеговой развивается быстро, характеризуется неравномерным распределением осадков по территории, вариативностью их интенсивности и значительным влиянием кинетической энергии падающих капель дождя. При этом, размер дождевых капель напрямую влияет на степень их разрушительного воздействия на почву: чем крупнее капли, тем сильнее эрозия.

Динамичный процесс деградации почвенного покрова в результате ливневой деятельности изучается как в нашей стране, так и за рубежом [Yin et al., 2017; Piacentini et al., 2018; Ермолаев и др., 2019; Dunkerley, 2019; Panagos et al., 2020; Yu, 2022; Полуэктов, Балакай, 2025; и др.]. Несмотря на это остается малоизученным пространственно-временное распределение интенсивности ливневых осадков и объемов смыва почв в разных агроландшафтах, особенно для Западной Сибири, где ливневая деятельность развивается в теплое время года. Для этого региона остаются слабоизученными вопросы о частоте выпадения ливней, их распределении по месяцам, о величине смыва почв, гранулометрическом составе делювия и содержания в нем биогенов и др. Цель настоящей работы – анализ данных о ливнях и оценка их эрозионной опасности для

сельскохозяйственных угодий Томской области, расположенной на юго-востоке Западной Сибири.

Объекты и методы исследования

Объект исследования – сельскохозяйственные земли территории Томской области (рис. 1). Рельеф южной части территории Томской области, где в основном расположены агроландшафты, равнинный, но имеются и различия: на левобережье р. Обь он в основном плоский, сильно заболоченной с абсолютными высотами в пределах 100–160 м, крутизна склонов пашен изменяется от 0–1° до 3–5°. На правобережье Оби в пределах Томь-Яйского междуречья рельеф преимущественно полого-увалистый, хорошо расчлененный с абсолютными высотами от 100 до 270 м. Пахотные угодья располагаются на склонах разной крутизны.

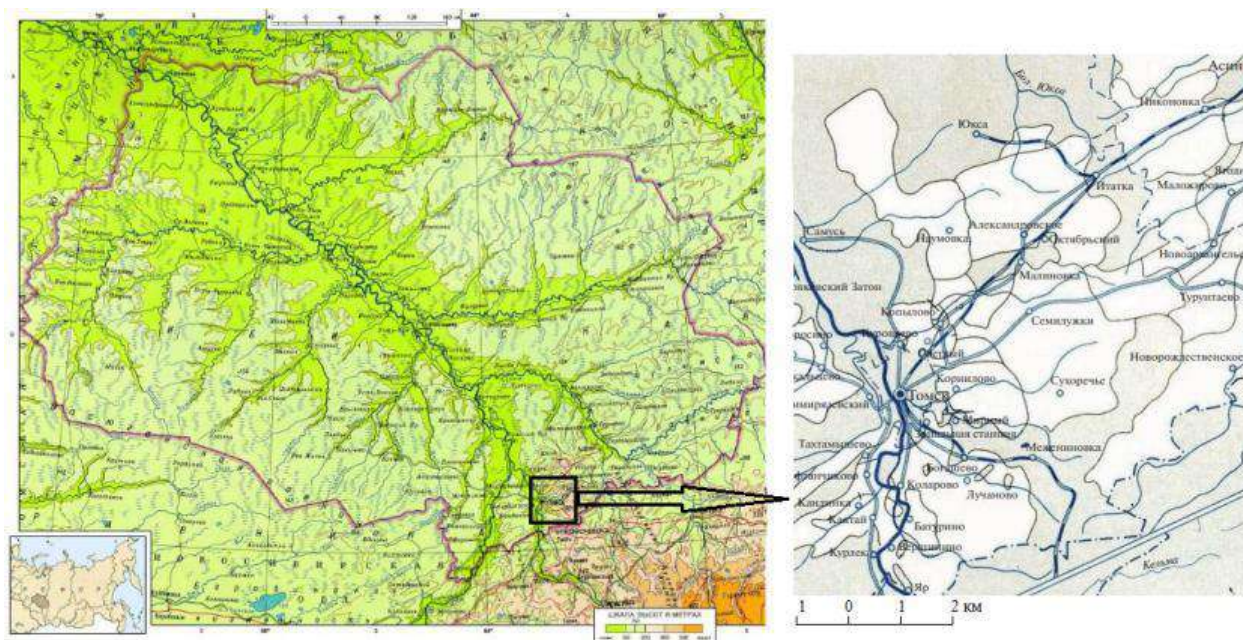


Рис. 1. Фрагмент схемы земель сельскохозяйственного назначения (белый цвет) на юго-востоке Томской области

Fig. 1. Fragment of the scheme of agricultural lands (white) in the south-east of Tomsk region

С поверхности исследуемая территория сложена карбонатными лессовыми породами. Лессовидные суглинки не водостойкие, они размокают в воде (в течение 2–120 минут), легко размываются. Мощность лессовых пород изменяется от 1–3 до 12 м, для них характерно развитие суффозии и просадочности. Вследствие этого на поверхности плакоров и в верхних частях склонов пашни развиты суффозионно-просадочные депрессии. Часто они не распаиваются, облесены березой, осинкой, сосной, местами образуются мелкие озера. Глубина депрессий достигает 3–5 м, длина их склонов – до 30–50 м, а крутизна – до 3–5°. Депрессии на пашне часто являются местными базами эрозии для стока талых и дождевых вод, они способствуют формированию мозаичности крутизны склонов на пашне, что влияет на величину смыва почв, а также отложение делювия на дне депрессий. Лессовые суглинки являются почвообразующими.

Исследуемая территория находится в пределах двух подзон: южной тайги и подтайги, с преобладанием мелколиственных пород из березы, осины. Климат – умеренно-континентальный. Основу пахотных угодий в Томской области составляют серые лесные оподзоленные почвы (почти 74 %). В.А. Хмелев и др. [2001] отмечают, что

вследствие развития водно-эрозионных процессов происходит снижение потенциального плодородия почв: при стоке талых снеговых вод смыв почв на северных склонах составляет 5–15 м³/га, а на южных склонах достигает 50–70 м³/га. Таким образом, роль ливневых осадков в деградации почв не учтена, но она по данным наблюдений авторов настоящей статьи, значительна.

Вследствие этого нами проведен анализ режима выпадения дождей в теплое время года, их интенсивности, времени выпадения и эрозионных последствий. В работе проведен анализ литературных источников по теме исследования, а также данных суточного разрешения об атмосферных осадках со станций Томск и Бакчар с 1960 по 2023 годы из архива ВНИИГМИ-МЦД; полевых наблюдений за последствиями 20 ливней в пределах южных районов исследуемой территории (см. рис. 1) и ливня 1996 г. в Бакчарском районе Томской области.

Опасность эрозии в зависимости от слоя осадков, времени их выпадения иногда оценивается по показателю метеорологической силы дождя: $S = H / \sqrt{T}$ {1}; $S = i\sqrt{T}$ {2}; $S = \sqrt{Hi}$, {3}; где S – сила дождя, H – слой осадков, мм, T – период выпадения осадков, мин, i – интенсивность осадков, мм/мин [Горбачев, 1937]. Нами в силу имеющихся возможностей выбрана первая зависимость {1}. Этот параметр, связывающий простой зависимостью величину выпавших осадков и время их выпадения, позволяет оценить эффект воздействия дождя.

Для оценки потенциального смыва почв от стока ливневых осадков нами была использована зависимость Г.А. Ларионова [1993]:

$$C = D \times P \times R \times K_0$$

где C – модуль смыва от стока дождевых вод, т/га за год; D – эрозионный потенциал дождевых осадков; P – смываемость почв, т/га на единицу эрозионного потенциала осадков; R – эрозионный потенциал рельефа; K_0 – почвозащитный коэффициент растительного покрова и агротехники.

Результаты и их обсуждение

В пределах исследуемой территории по данным наблюдений на метеостанциях Томск и Бакчар среднегодовая сумма осадков с 1960 по 2023 гг. изменялась от 300 до 765 мм/год, но отмечалась значительная вариация сумм осадков по годам. Из общего количества осадков за год на лето в среднем приходится 242,9 мм, но случаются годы с количеством летних осадков больше нормы. Например, в 1987 г. за лето выпало 414,1 мм, больше нормы их наблюдалось по данным метеостанции Томск в 1956, 1970, 2001–2004, 2009, 2011, 2022 годы. В 2024 году в Томске, за лето выпало 278,5 мм из них в августе 142 мм. Значительное количество осадков за лето в последние годы выпадало и в Бакчаре – 2017, 2018, 2022. За лето 2024 г. в Бакчаре выпало 338,5 мм осадков из них в августе 148 мм.

Аналитический обзор ливневой деятельности над территорией Томской области показал, что ливни здесь случаются ежегодно, в результате чего происходит смыв и размыв почв в агроландшафтах, а также полегание и вымокание сельскохозяйственных культур в депрессиях рельефа. Ливни в Томской области выпадают с апреля по октябрь. За период с 1967 по 2023 гг. по данным метеостанции Томск и Бакчар было зафиксировано изменение слоя осадков от 10 до 87 мм за время выпадения ливня (рис. 2).

Продолжительность ливней изменяется от 1 минуты до 7–9 часов; средняя интенсивность варьирует от 0,11–0,15 мм/мин до 1,0–3,0 мм/мин, но случаются ливни с очень высокой интенсивностью – более 5 мм/мин, на их долю приходится около 2 % всех дождей. Примеры таких ливней в южной тайге приводят Н.Н. Чередыко и др. [2022] по данным метеостанций Старица, расположенной в южной тайге, среднем течении

р. Парабель: в течение 2018–2021 гг. здесь отмечалось 5 сильных дождей (с количеством осадков не менее 35 мм за 12 часов).

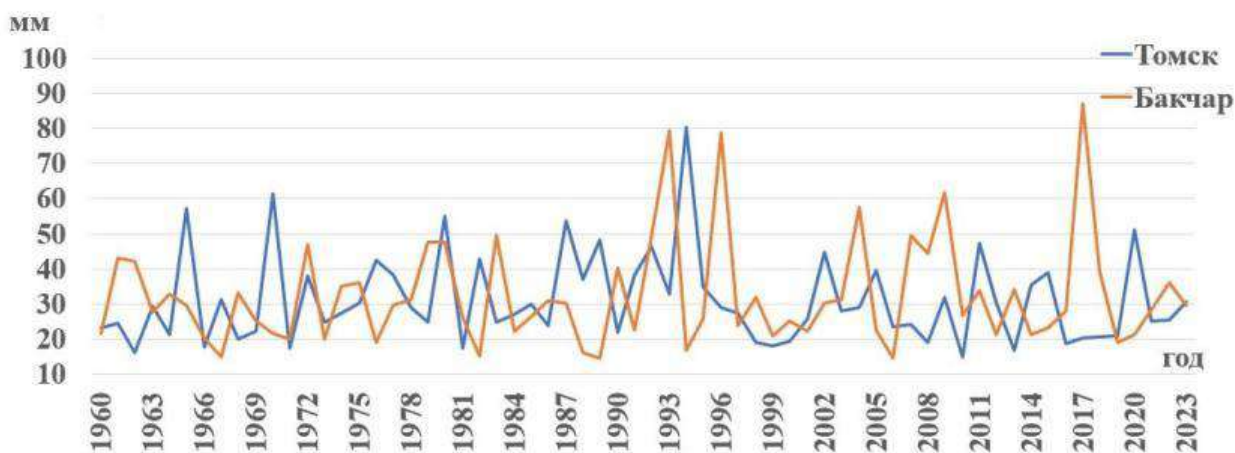


Рис. 2. Максимальный слой осадков (мм), зафиксированный во время ливня по метеостанциям Томск и Бакчар

Fig. 2. Maximum precipitation during heavy rain according to weather stations in Tomsk and Bakchar

Ливни с высокой интенсивностью выпадения особенно опасны для развития эрозии почв, а также оказывают влияние на инфраструктуру селитебных территорий. Анализ суточных норм осадков за 1967–2023 гг. показал, что отмечается увеличение числа случаев выпадения ливней (табл. 1). Практически ежегодно случаются ливни со слоем ≥ 30 мм/сут, например, на станции Бакчар таких ливней в 1996 г. было четыре. Характерной чертой выпадения ливней в пределах исследуемой территории является значительная сумма атмосферных осадков за сутки – до 87 мм; за двое суток – до 75 мм, за пять суток – до 130–150 мм. Такие осадки относятся к экстремальным и наносят значительный урон особенно на парах и сельскохозяйственных землях, занятых пропашными культурами, но также вызывают смыв и размыв почв под льном, зерновыми и даже многолетними травами, вызывают подтопление территории и др. Далее в статье нами приведены ряд примеров.

Таблица 1
Table 1

Число случаев ливней с разной суточной суммой осадков за 1967–2023 годы
Number of showers with different daily precipitation amounts for 1967–2023

Суточная сумма осадков, мм	Число случаев по метеостанциям, годы			
	Томск		Бакчар	
	1967–2017 (50 лет)	2018–2023 (6 лет)	1967–2017 (50 лет)	2018–2023 (6 лет)
10–20	11	45	8	45
20–30	22	9	22	15
30–50	25	1	27	5
>50	5	1	5	–

Исследователи отмечают тенденцию увеличения годовых сумм сильных осадков, в том числе максимальной пентадной суммы осадков, то есть осадков, выпавших за последовательные 5 суток (R5d) [Кужевская и др., 2018]. Увеличение повторяемости максимальной пентадной суммы осадков относительно месячной нормы отмечается над центральными и южными районами Западной Сибири, в том числе на территории Томской области. В отдельные годы суммы осадков, выпавших за 5 последовательных суток, могут превышать месячную норму осадков более чем на 190 % и выявляют ситуации, ассоциируемые с возникновением дождевых паводков (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Примеры экстремальных осадков над территорией юга Томской области
за 1951–2017 годы (по [Кужевской и др. 2018])
Examples of extreme precipitation over the south of Tomsk region
for 1951–2017 (according to [Kuzhevskaya et al. 2018])

Станции	Абсолютный максимум пентадной суммы осадков, мм месяц / год	Месячные нормы осадков, мм	Пентадная сумма осадков норма суммы осадков	Чрезвычайные происшествия / из них после 2000 г.
Первомайское	72,2 / август 1962	67	107,8	5 / 1
Томск	102,8 / август 1994	76	135,3	5 / 3
Бакчар	113 / июль 1996	74	152,7	8 / 4

В рядах многолетней повторяемости R5d отчетливо прослеживается квазипериодичность (2 года и 6 лет), обусловленная, скорее всего, повторяемостью синоптических процессов. Но предвидеть год (климатический прогноз) благоприятный для формирования экстремальных осадков на территорию не представляется возможным. Повторяемость экстремумов в рядах осадков показывает наличие высокой пространственной неоднородности их проявления, а сумма выпавших осадков часто превышает уровень средних значений в 2–3 раза. Эти данные подтверждают и наблюдения Л.Ф. Литвина и др. [2013], отмечающих, что сильные ливни характеризуются многоочаговостью, неравномерностью выпадения: суммы осадков за 1–2 часа под дождемером, установленным на расстоянии 120 м друг от друга, могут отклоняться на 50 % от средней. Ряд исследователей считают, что экстремальные ливни редкой повторяемости обладают исключительной эрозионной эффективностью, такие ливни дают 66–88 % суммарного объема смыва [Edwards, Owens, 1991].

Для решения вопроса о роли дождевых осадков в развитии эрозии почв нами проведены камеральные и полевые работы. В течение последних 38 лет обследовано воздействие 20 ливней с разным слоем осадков и временем выпадения на сельскохозяйственные ландшафты с различным агрофоном.

Для оценки эрозионного потенциала дождя – его стокоформирующей и эрозионной опасности – в настоящее время предлагаются разнообразные количественные показатели, учитывающие интенсивность и величину слоя осадков. Наиболее широко используется эрозионный индекс осадков R , предложенный W.H. Wischemyer и D.D. Smith [1978] расчетные методы изложены в работах П.Ф. Горбачева [1937], Г.А. Ларионова [1993], М.С. Кузнецова и др. [2024]. Кроме того, предложено «универсальное уравнение эрозии почв» (модели $USLE$, $RUSLE$), предполагается прямая пропорциональность между

среднегодовой интенсивностью смыва и среднегодовыми суммами эрозионного потенциала дождя R_{30} .

Н.С. Евсеевой и Р.В. Кнаубом [2004] по методике Г.А. Ларионова [1993] рассчитана величина потенциального смыва почв от стока дождевых осадков в пределах Томь-Яйского междуречья юга Томской области. Смыв почв на исследуемой территории изменяется от 0 до 3,7 т/га и может достигать 12,7–32,2 т/га. Авторами работы также проведены расчеты метеорологической силы дождя (по методике П.Ф. Горбачева [1937]) для ливней с разными слоями осадков и временем выпадения (около 100 случаев) разных лет. Выявлено, что сила дождей изменяется от 0,3–0,5 до 10; в результате ливни вызывают как слабое разрушение почвы, так и очень сильный смыв, и размыв грунтов в соответствии с классификацией дождей для оценки по силе их гидрологических последствий, предложенной П.Ф. Горбачевым [1937].

Во время ливней, продолжительность которых варьирует от 1 минуты до 9 часов, на поверхность почвы попадает большая масса воды: И.Г. Грингоф и А.Д. Клещенко [2011], отмечают, что 1 мм осадков – это 10 т воды на 1 га. При выпадении ливней со слоем более 30 мм эродирующая сила воды весьма значительна, но большую роль на эрозионный процесс оказывают микрорельеф пашни, длина и крутизна склонов, состояние агрофона. Рассмотрим это влияние на примере ряда ливней с разным слоем осадков, временем выпадения. Как показали исследования при ливневой эрозии, почвогрунты смываются со склонов текущей водой, но механизм удаления различен и осуществляется:

1 – в результате воздействия кинетической энергии капель дождя, около 30 % расходуется на диспергирование почвенных частиц. Как следствие, на открытых или слабо защищенных растительным покровом участках, мелкозем поднимается в воздух на высоту 1–1,5 м и переносится на расстояние до 1,5 м от точки удара [Сластухин, 1980]. Результаты полевых наблюдений, проведенных нами, подтверждают закономерности, выявленные в цитируемой работе. Например, после ливней 21 августа и 26 августа 2024 года со слоем осадков 29 мм дождевая эрозия на склонах пашни юго-востока Томской области со всходами озимых привела к «выбиванию» их с образованием оголенных участков, а в депрессиях рельефа – к замыванию посевов. Подобное отмечалось нами неоднократно (рис. 3).



Рис. 3. Состояние посадок льна на пашне Томь-Яйского междуречья после ливня в 2020 году (фото А.С. Батмановой)

Fig. 3. The state of flax plantings in the arable land of the Tom-Ya interfluve after the downpour in 2020 (photo by A.S. Batmanova)

2 – во время сильных ливней на склонах происходит сток воды, но эрозионный эффект, как отмечалось ранее, различен. Рассмотрим примеры влияния агрофона, длины, крутизны склонов на примере ряда ливней с разным слоем осадков, а также эрозионный эффект от сильных ливней (табл. 3). Анализ таблицы показывает, что метеорологическая сила ливней (S) значительна и дожди производят смыв и размыв почв за короткий период времени: по зяби – за 1 минуту до $2 \text{ м}^3/\text{га}$, по пропашным культурам за 9,5 часов – до $40\text{--}110 \text{ м}^3/\text{га}$.

Таблица 3
Table 3

Примеры оценок объема смыва почв со склонов пашни с разным агрофоном в пределах Томь-Яйского междуречья
Examples of the volume of soil erosion from the slopes of arable land with different agricultural backgrounds within the Tom-Ya interfluve

Дата выпадения ливня	Слой осадков, мм / время выпадения, мин / сила ливня, S	Состояние агрофона	Микрорельеф пашни, крутизна склона, эрозионные процессы, смыв почв
30.06.1987 01.07.1987	74,3/570/3	Боронованная зябь поперек склона	Прямой склон ($3\text{--}11^\circ$), длиной 100 м. Смыв $4\text{--}6 \text{ м}^3/\text{га}$
		Посадки картофеля	Прямой склон ($2\text{--}8^\circ$), длиной 300–500 м. Струйчатые размывы (длина 200 м, ширина до 1,5 м, глубина 0,7 м). Смыв $40\text{--}100 \text{ м}^3/\text{га}$
14.06.1990	9,9/57/1,3	Посевы злаков в стадии кущения	Прямой склон ($2\text{--}7^\circ$), южная экспозиция, длиной 300 м. Четырнадцать водороев (длина 27–36 м, глубина 1–15 см). Конус выноса площадью 12 м^2 с мощностью делювия 7–12 см, смыв $1\text{--}4 \text{ м}^3/\text{га}$
09.09.2002	26,0/350/1,4	Стерня после уборки льна	Склон северной экспозиции. Девять размывов длиной 9 м, шириной 0,3 м и глубиной 0,05 м. Смыв $3\text{--}3,5 \text{ м}^3/\text{га}$
			Склон южной экспозиции с промоинами длиной до 257 м, глубиной 63 см. Семь размывов. Смыв $5\text{--}8 \text{ м}^3/\text{га}$
22.06.2003	28/65/3,5	Посевы овса в стадии кущения	Склон прямой ($1\text{--}5^\circ$), экспозиция южная, длиной 300 м. Смыв и размыв почв с образованием конусов выноса. Смыв $4\text{--}5 \text{ м}^3/\text{га}$
05.07.2013	34,1/1105/>1	Посевы злаковых, высотой 20–30 см. Полевая дорога между полей	Пологоволнистый склон ($2\text{--}7^\circ$), экспозиция южная. Размывы длиной 57 м, глубиной 105 см и шириной 95 см. Местами на склонах депрессии размывы длиной 5–7 м, местами посеvy «выбиты»
03.06.2015	3,7/1/3,7	Боронованная зябь поперек склона	Прямой склон ($2\text{--}11^\circ$), экспозиция южная, длиной 300 м. Смыв $0,5\text{--}2 \text{ м}^3/\text{га}$
03.07.2020 04.07.2020	21/245/8,1	Злаковые в стадии кущения, рядки поперек склона	Прямой склон ($2\text{--}11^\circ$), экспозиция южная, длиной 300 м. Местами выбиты посеvy, смыв $1\text{--}3 \text{ м}^3/\text{га}$
		Густые посеvy льна высотой 60–70 см	Склон сложной формы ($1\text{--}10^\circ$), экспозиция южная, длиной 300 м. Смыв почвы $1\text{--}10 \text{ м}^3/\text{га}$, у подножия склона

			образовался делювиальный шлейф, мощностью 5–10 см
--	--	--	--

Согласно СП 115.13330.2016 [2021] интенсивность смыва почвы со склонов пашни ливневыми осадками изменяется от умеренно опасного процесса – $1\text{--}5\text{ м}^3/\text{га}$ до весьма опасного – $10\text{--}15\text{ м}^3/\text{га}$. В отдельные годы при выпадении экстремальных осадков (за одни сутки, за 3–5 суток) происходит большой объем смыва почв со склонов пашни крутизной более 3° , особенно по пропашным культурам.

В случае плоского, плоско-волнистого микрорельефа пашни происходит заиливание делювием растений в депрессиях рельефа, а также их вымокание. Например, в 1996 г. после сильных ливней в июле произошло стопроцентное полегание посевов на полях одного из хозяйств Бакcharского района Томской области. Этим ливнем были повреждены зерновые на площади 2900 га, кормовые – на 1800 га, ущерб составил 1 млрд 475 млн. руб. (цены 1996 г.) [Евсеева и др., 2021].

Ливни, как и затяжные дожди, приводят к подъему уровня воды в реках, подтоплению селитебных территорий, повреждению дорожных полотен, мостов. Примеры такого воздействия многочисленны: ливни 15–17 июня 2017 г. привели к размыву дорог в Томском районе, а ливни 20–22 июля 2018 г. вызвали повреждение мостов в Бакcharском районе [Дорогу..., 2025]; ливни 18–19 июля 2022 г., когда выпало 70 мм осадков, привели к обводнению улиц и затоплению подземных переходов в Томске [«Венеция» ..., 2025], сильные ливни 26–27 мая 2024 г. в Томске вызвали локальные подтопления [На Томск..., 2025], а 18 июня 2024 г. вызвали возникновение грязевых потоков [В Томске..., 2025].

Заключение

Комплексный анализ полевых, камеральных и литературных данных за период с 1967–2024 гг. позволил установить основные закономерности и последствия ливневой деятельности на территории агроландшафтов юго-востока Томской области. Отмечается усиление ливневой деятельности над территорией Томской области с 2017 г. и частота вызванных ею чрезвычайных происшествий, что согласуется с общими тенденциями изменения климата.

Характерной чертой выпадения ливней является значительная сумма атмосферных осадков за сутки – до 87 мм; за пять суток – до 152,7 мм. Ливни являются одним из факторов деградации почвенного покрова в агроландшафтах Томской области, вызывая смыв и размыв почв, полегание и вымокание сельскохозяйственных культур. Величина потенциального смыва почв от стока дождевых осадков может достигать значительных показателей (до 30 т/га). Наибольшая интенсивность денудационных процессов в агроландшафтах зафиксирована на боронованной зяби и пропашных культурах, достигая $40\text{--}100\text{ м}^3/\text{га}$ на склонах крутизной свыше $2\text{--}3^\circ$.

Практическая значимость полученных результатов заключается в обосновании рекомендаций для сельскохозяйственных производителей по снижению эрозионной опасности ливневых осадков, оценки рисков и разработки стратегий адаптации к изменению климата в сельском хозяйстве Томской области.

Критический анализ показал, что традиционные расчетные методы оценки эрозионного потенциала осадков предоставляют лишь усредненную картину для получения репрезентативных данных о динамике ливневой денудации, что обуславливает необходимость мультиметодологического подхода, включающего ГИС-технологии, дистанционное зондирование с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и детальные верификационные полевые наблюдения. Поэтому дальнейшее детальное изучение пространственно-временного распределения интенсивности ливневых осадков и объемов смыва почв в разных агроландшафтах Томской области на основе

комплексного подхода позволит разработать более эффективные меры по снижению негативного воздействия ливневой эрозии на почвы и обеспечить устойчивое развитие сельского хозяйства в условиях меняющегося климата.

Список источников

- В Томске ливневки затопили улицы города. Комсомольская правда. Электронный ресурс. URL: <https://www.tomsk.kp.ru/daily/27596/4947105/> (дата обращения: 11.03.2025).
- «Венеция» в Томске: после ливня 17 июня город утонул в лужах. Комсомольская правда. Электронный ресурс. URL: <https://www.tomsk.kp.ru/daily/27407.5/4603908> (дата обращения: 11.03.2025).
- Горбачев П.Ф. 1937. Методы расчета ливневого стока. М., Издательство «Власть Советов» при Президиуме ВЦИК, 167 с.
- Грингоф И.Г., Клещенко А.Д. 2011. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том I. Потребность сельскохозяйственных культур в агрометеорологических условиях и опасные для сельскохозяйственного производства погодные условия. Обнинск, ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 808 с.
- Дорогу Бакчар – Большая Галка в Томской области разрушил паводок. ФедералПресс. Электронный ресурс. URL: <https://fedpress.ru/news/70/incidents/2074493> (дата обращения: 10.02.2025).
- Иванова О.И., Бураков Д.А. 2020. Эрозия почв. Красноярск, Красноярский государственный аграрный университет, 103 с.
- Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. 2024. Эрозия и охрана почв. М., Издательство Юрайт, 387 с.
- На Томск обрушился ливень. Московский комсомолец. Электронный ресурс. URL: <https://tomsk.mk.ru/social/2024/05/21/na-tomsk-obrushilsya-liven.html> (дата обращения: 11.03.2025).
- СП 115.13330.2016. Геофизика опасных природных воздействий. 2021. Актуализированная редакция. М., Стандартинформ, Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054202> (дата обращения: 07.08.2025).

Список литературы

- Володин Е.М. 2022. Вероятные изменения климата в XXI веке на территории России по данным модели климата INM-CM5-0. Метеорология и гидрология, 5: 5–13. <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2022-5-5-13>
- Гавриленко М.А. 2023. Динамика и режим выпадения атмосферных осадков в летний период в условиях глобального потепления климата. В кн.: Агрометеорология XXI века. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию кафедры метеорологии и климатологии, Москва, 19 декабря 2023. Москва, Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации. Мировой центр данных: 138–144.
- Евсеева Н.С., Квасникова З.Н., Кужевская И.В. 2021. Ливни как природный риск и их экологические аспекты (на примере южной части Томской области). Геосферные исследования, 4: 73–84. <https://doi.org/10.17223/25421379/21/6>
- Евсеева Н.С., Кнауф Р.В. 2004. Оценка потенциального смыва почв на юго-востоке таежной зоны Западно-Сибирской равнины стока дождевых осадков (на примере Томской области). В кн.: Рельефообразующие процессы: теория, практика, методы исследования: Материалы XXVIII Пленума Геоморфологической комиссии РАН, 20–24 сентября 2004. Новосибирск: 105–107.
- Ермолаев О.П., Усманов Б.М., Гафуров А.М., Голосов В.Н. 2019. Оценка темпов смыва на склонах методом наземного лазерного сканирования. В кн.: Пространственно-временные закономерности развития современных процессов природноантропогенной эрозии на Русской равнине. Казань, АН РТ: 115–122.
- Калинин Н.А., Сивков Б.А., Дмитриев А.В. 2020. Условия формирования ливневых осадков теплого периода в Пермском крае. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 30(3): 295–306. <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2020-30-3-295-306>
- Кужевская И.В., Пустовалов К.Н., Шарапова А.А. 2018. Характеристики конвективных кластеров, восстановленные по данным инструментов зондирования ATOVS. Фундаментальная и прикладная климатология, 2: 69–85. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2018-2-69-85>

- Ларионов Г.А. 1993. Эрозия и дефляция почв: основные закономерности количественная оценка. Москва, МГУ, 200 с.
- Литвин Л.Ф., Добровольская Н.Г., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф. 2013. Вариабельность факторов и количественные оценки эрозии. В кн.: Двадцать восьмое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Доклады и краткие сообщения, Пермь, 08–10 октября 2013. Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет: 129–131.
- Мун Д.В., Попета В.В., Мингалеев С.Г. 2022. Климатические изменения: Россия в зоне повышенного риска. Экономика, предпринимательство и право, 12(10): 2895–2914. <https://doi.org/10.18334/epp.12.10.116575>
- Переведенцев Ю.П., Шерстюков Б.Г. Шанталиский К.М. 2021. Изменение температуры влажностного режима на территории России 1976-2019 гг. В кн.: Динамика и взаимодействие геосфер Земли. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 100-летию подготовки в Томском государственном университете специалистов в области наук о Земле, Томск, 08–12 ноября 2021. Томск, Томский центр научно-технической информации: 180–183.
- Полужтков Е.В., Балакай Г.Т. 2025. Особенности проявления эрозионных процессов при снеготаянии и выпадении ливневых дождей на юге России. Мелиорация и гидротехника, 15(1): 1–22.
- Сластухин В.В. 1980. Методика исследования эрозии почв, вызываемой интенсивными осадками. В кн.: Современные аспекты изучения эрозионных процессов. Новосибирск, Наука: 28–32.
- Ташилова А.А. 2021. Изменения в распределении региональных осадков в ответ на глобальное потепление. Наука. Инновации. Технологии, 3: 73–90. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2021.3.5>
- Хмелев В.А., Каличкин В.К., Азаренко В.Г., Шипилин Н.Н. 2001. Агроэкологические основы землепользования в Томской области. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 255 с.
- Черedyкo Н.Н., Волкова М.А., Кужевская И.В., Чурсин В.В. 2022. Экстремальные летние осадки в Сибири в 2015–2021 гг. В кн.: ENVIROMIS-2022. Международная конференция и школа молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды, Томск, 12–17 сентября 2022. Томск, Томский ЦНТИ: 332–335.
- Borrelli P., Robinson D.A., Panagos P., Lugato E., Yang J.E., ... Ballabio C. 2020. Land Use and Climate Change Impacts on Global Soil Erosion by Water (2015–2070). PNAS, 117(36): 21994–22001. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>
- Dunkerley D.L. 2019. Rainfall Intensity Bursts and the Erosion of Soils: an Analysis Highlighting the Need for High Temporal Resolution Rainfall Data for Research Under Current and Future Climates. Earth Surface Dynamics, 7: 345–360. <https://doi.org/10.5194/esurf-7-345-2019>
- Edwards W.M., Owens L.B. 1991. Large Storm Effects on Total Soil Erosion. Journal of Soil and Water Conservation, 46(1): 75–78. <https://doi.org/10.1080/00224561.1991.12456579>
- Piacentini T., Galli A., Marsala V., Miccadei E. 2018. Analysis of Soil Erosion Induced by Heavy Rainfall: A Case Study from the NE Abruzzo Hills Area in Central Italy. Water, 10(10): 1314. <https://doi.org/10.3390/w10101314>
- Panagos P., Ballabio C., Poesen J., Lugato E., Scarpa S., ... Borrelli P. 2020. A Soil Erosion Indicator for Supporting Agricultural, Environmental and Climate Policies in the European Union. Remote Sens, 12(9): 1365. <https://doi.org/10.3390/rs12091365>
- Wischemyer W.H., Smith D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. A guide to conservation planning. Maryland, USDA Agriculture Handbook, 69 p.
- Yin S., Nearing M.A., Borrelli P., Xue X. 2017. Rainfall Erosivity: An Overview of Methodologies and Applications. Vadose Zone Journal, 16(12): 1–16. <https://doi.org/10.2136/vzj2017.06.0131>
- Yu Z. 2022. Effects of Soil Erosion and Heavy Rainfall on Ecosystem with Respect to Time Intervals. Global Science Research Journal, 11(3): 1–2. <https://doi.org/10.15651/2449-1780.22.11.013>

References

- Volodin E.M. 2022. Possible Climate Change in Russia in the 21st Century Based on the INM-CM5-0 Climate Model. Russian Meteorology and Hydrology, 47(5): 327–333 (in Russian). <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2022-5-5-13>

- Gavrilenko M.A. 2023. Dinamika i rezhim vypadeniya atmosferynykh osadkov v letniy period v usloviyakh global'nogo potepleniya klimata [Dynamics and Regime of Precipitation in Summer Under Conditions of Global Warming]. In: Agrometeorologiya XXI veka [Agrometeorology of the 21st century]. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 90th anniversary of the Department of Meteorology and Climatology, Moscow, 19 December 2023. Moscow, Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut gidrometeorologicheskoy informatsii. Mirovoy tsentr dannykh: 138–144.
- Evseeva N.S., Kvasnikova Z.N., Kuzhevskaya I.V. 2021. Rainfalls as a Natural Risk and Their Ecological Aspects (on the Example Southern Part of the Tomsk Region). Geosphere research, 4: 73–84 (in Russian). <https://doi.org/10.17223/25421379/21/6>
- Evseeva N.S., Knaub R.V. 2004. Otsenka potentsial'nogo smyva pochv na yugo-vostoche taizhnoy zony Zapadno-Sibirskoy ravniny stoka dozhdevykh osadkov (na primere Tomskoy oblasti) [Assessment of Potential Soil Erosion in the Southeastern Taiga Zone of the West Siberian Plain Due to Rainfall Runoff (Using Tomsk Oblast as an Example)]. In: Relief-forming processes theory, practice, and research methods: Proceedings of the XXVIII Plenum of the Geomorphological Commission of the Russian Academy of Sciences, 20–24 September 2004. Novosibirsk: 105–107.
- Ermolaev O.P., Usmanov B.M., Gafurov A.M., Golosov V.N. 2019. Estimation of the Rate of Flush on Slopes by Ground Laser Scanning. In: Spatio-Temporal Patterns of Contemporary Processes Dynamics of Natural and Human-Induced Erosion on Agricultural Lands of the Russian Plain. Kazan, Publ. AN RT: 115–122 (in Russian).
- Kalinin N.A., Sivkov B.A., Dmitriev A.V. 2020. Formation Conditions of Warm-Season Storm Rainfall in Perm Region. Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle, 30(3): 295–306. <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2020-30-3-295-306>
- Kuzhevskaya I.V., Pustovalov K.N., Sharapova A.A. 2018. Characteristics of Convective Clusters Reconstructed from Data Obtained with Atovs Sensing Tools. Fundamental and applied climatology, 2: 69–85 (in Russian).
- Larionov G.A. 1993. Eroziya i deflyatsiya pochv: osnovnye zakonomernosti kolichestvennaya otsenka [Soil Erosion and Deflation: Main Patterns and Quantitative Assessment]. Moscow, Publ. MGU, 200 p.
- Litvin L.F., Dobrovol'skaya N.G., Kiryukhina Z.P., Krasnov S.F. 2013. Variabel'nost' faktorov i kolichestvennye otsenki erozii [Variability of Factors and Quantitative Assessments of Erosion]. In: Twenty-eighth plenary interuniversity coordination meeting on the problem of erosion, channel and estuary processes: reports and short communications, Perm, 8–10 October 2013. Perm, Publ. Perm State National Research University: 129–131.
- Mun D.V., Popeta V.V., Mingaleev S.G. 2022. Climate Change: Russia at High Risk. Journal of Economics, Entrepreneurship and Law, 12(10): 2895–2914 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/epp.12.10.116575>
- Perevedentsev Yu.P., Sherstyukov B.G., Shantal'skiy K.M. 2021. Izmenenie temperatury vlazhnostnogo rezhima na territorii Rossii 1976-2019 gg. [Temperature and Humidity Regime Changes in Russia from 1976 to 2019]. In: Dynamics and interaction of the Earth's geospheres [Dynamics and Interaction of the Earth's Geospheres]. Proceedings of the All-Russian conference with international participation dedicated to the 100th anniversary of the training of specialists in the field of earth sciences at Tomsk State University, Tomsk, 8–12 November 2021. Tomsk, Publ. Tomskiy tsentr nauchno-tekhnicheskoy informatsii: 180–183.
- Poluektov E.V., Balakay G.T. 2025. Features of erosion processes manifestation during snowmelt and heavy rainfall in the south of Russia. Land Reclamation and Hydraulic Engineering, 15(1): 1–22 (in Russian).
- Slastikhin V.V. 1980. Metodika issledovaniya erozii pochv, vyzyvaemoy intensivnymi osadkami. [Methodology for Studying Soil Erosion Caused by Intense Precipitation]. In: Sovremennyye aspekty izucheniya erozionnykh protsessov [Modern Aspects of the Study of Erosion Processes]. Novosibirsk, Publ. Nauka: 28–32.
- Tashilova A.A. 2021. Changes in Regional Precipitation Distribution in Response to Global Warming. Science. Innovations. Technologies, 3: 73–90 (in Russian). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2021.3.5>
- Khmelev V.A., Kalichkin V.K., Azarenko V.G., Shipilin N.N. 2001. Agroekologicheskie osnovy zemlepol'zovaniya v Tomskoy oblasti [Agroecological Principles of Land Use in the Tomsk Region]. Novosibirsk, Publ. SO RAN, 255 p.

- Chered'ko N.N., Volkova M.A., Kuzhevskaya I.V., Chursin V.V. 2022. Ekstremal'nye letnie osadki v Sibiri v 2015–2021 gg. [Extreme Summer Precipitation in Siberia in 2015–2021]. In: ENVIROMIS-2022. International Conference and School of Young Scientists on Measurements, Modeling, and Information Systems for Environmental Studies, Tomsk, 12–17 September 2022. Tomsk, Publ. Tomskiy TsNTI: 332–335.
- Borrelli P., Robinson D.A., Panagos P., Lugato E., Yang J.E., ... Ballabio C. 2020. Land Use and Climate Change Impacts on Global Soil Erosion by Water (2015–2070). PNAS, 117(36): 21994–22001. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>
- Dunkerley D.L. 2019. Rainfall Intensity Bursts and the Erosion of Soils: an Analysis Highlighting the Need for High Temporal Resolution Rainfall Data for Research Under Current and Future Climates. Earth Surface Dynamics, 7: 345–360. <https://doi.org/10.5194/esurf-7-345-2019>
- Edwards W.M., Owens L.B. 1991. Large Storm Effects on Total Soil Erosion. Journal of Soil and Water Conservation, 46(1): 75–78. <https://doi.org/10.1080/00224561.1991.12456579>
- Piacentini T., Galli A., Marsala V., Miccadei E. 2018. Analysis of Soil Erosion Induced by Heavy Rainfall: A Case Study from the NE Abruzzo Hills Area in Central Italy. Water, 10(10): 1314. <https://doi.org/10.3390/w10101314>
- Panagos P., Ballabio C., Poesen J., Lugato E., Scarpa S., ... Borrelli P. 2020. A Soil Erosion Indicator for Supporting Agricultural, Environmental and Climate Policies in the European Union. Remote Sens, 12(9): 1365. <https://doi.org/10.3390/rs12091365>
- Wischmeier W.H., Smith D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. A guide to conservation planning. Maryland, USDA Agriculture Handbook, 69 p.
- Yin S., Nearing M.A., Borrelli P., Xue X. 2017. Rainfall Erosivity: An Overview of Methodologies and Applications. Vadose Zone Journal, 16(12): 1–16. <https://doi.org/10.2136/vzj2017.06.0131>
- Yu Z. 2022. Effects of Soil Erosion and Heavy Rainfall on Ecosystem with Respect to Time Intervals. Global Science Research Journal, 11(3): 1–2. <https://doi.org/10.15651/2449-1780.22.11.013>

*Поступила в редакцию 18.09.2025;
поступила после рецензирования 27.10.2025;
принята к публикации 24.11.2025*

*Received September 18, 2025;
Revised October 27, 2025;
Accepted November 24, 2025*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Евсеева Нина Степановна, доктор географических наук, профессор, профессор кафедры географии, Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Каширо Маргарита Александровна, кандидат географических наук, доцент кафедры географии, Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Квасникова Зоя Николаевна, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры географии, Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Кузевская Ирина Валерьевна, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры метеорологии и климатологии, Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nina S. Evseeva, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Professor at the Department of Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Margarita A. Kashiro, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor at the Department of Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Zoya N. Kvasnikova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Irina V. Kuzhevskaya, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Meteorology and Climatology, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia



университет, г. Томск, Россия

Russia