Геосферные исследования. 2021. № 4. С. 73–84

УДК 551.578.46

ЛИВНИ КАК ПРИРОДНЫЙ РИСК И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ (НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ)

Н.С. Евсеева, З.Н. Квасникова, И.В. Кужевская

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

Проанализирована интенсивность ливневой эрозии в агроландшафтах юга Томской области. Приведены сведения о количестве дней с ливнями, слою осадков, интенсивности, продолжительности выпадения. С помощью расчетных методов выполнена оценка потенциального смыва почв дождевыми осадками для основных типов почв региона, вовлеченных в агропроизводство. Проведены полевые наблюдения за смывом почв в сельхозугодиях с пропашными, зерновыми и техническими культурами после ливней разной силы.

Ключевые слова: *водная эрозия, ливни, агроландшафты, Томская область*

Введение

Эрозия почв в условиях современной цивилизации – одна из глобальных проблем, определяющих национальную безопасность многих стран мира, поскольку вследствие этого процесса возникают нежелательные явления, приводящие к снижению плодородия почв, изменению природных ландшафтов. Под угрозой эрозии находятся 75 % площадей сельскохозяйственных и лесных угодий в Центральной Америке, более чем 20 % территории Африки и 11 % площади Азии. Различают два типа эрозии: водную и ветровую, около 2/3 явлений эрозии вызвано действием воды, 1/3 приходится на ветровую эрозию [Эрозия…, 2020]. В Российской Федерации водной эрозией подвержено 17,8 % площади сельскохозяйственных земель [Лисецкий и др., 2012].

В зависимости от происхождения вод, выполняющих работу по нарушению почвы, эрозия подразделяется на эрозию при снеготаянии, поливную (ирригационную) и ливневую (дождевую). Последняя относится к одному из главных процессов миграции вещества, приводящему к деградации почвенного покрова, подъему уровня воды в реках, подтоплению селитебных территорий, вымоканию посевов сельскохозяйственных культур на пашне и др.

Изучение ливней как опасного гидрометеорологического явления актуально, особенно в условиях меняющегося климата. Исследователи отмечают, что в условиях роста средней многолетней температуры приземного слоя наблюдается частичная перестройка атмосферной циркуляции, которая влияет на глобальный круговорот влаги, в частности на перераспределение осадков и частоту опасных погодных явлений (ливней, паводков, ураганов, засух и т.д.) [Climate…, 2007; Лисецкий и др., 2012]. Для атмосферных осадков высокая степень кластеризации в пространстве и во времени, они не формируют классического скалярного поля как другие характеристики атмосферы – давление, температура [Золина и др., 2016]. Проявлением такой кластеризации являются пространственная неоднородность выпадения ливневых и экстремальных осадков с интенсивностями, в десятки раз превышающих уровень средних значений [Коршунов, Коршунова, 2009–2015].

Среди исследователей ведутся дискуссии о причинах происходящих изменений климата, но мнения их сходятся в одном – нас ожидает рост силы и частоты опасных явлений, аномальных температур, выпадения осадков. Так, В.М. Катцков и соавт. [2011] прогнозируют увеличение летом осадков большой интенсивности на 2–6 %, что будет способствовать усилению процессов ливневой эрозии в агроландшафтах. Непропорциональное увеличение ливневой опасности в сравнении с возрастанием общих осадков подтверждается и другими исследователями для разных участков планеты [Allan, Soden, 2008; Лисецкий и др., 2012], в том числе над центральными и южными районами Западной Сибири [Кужевская и др., 2018].

Эрозионные последствия ливней, их воздействие на почвы, сток ливневых вод и другие процессы изучаются как в нашей стране [Заславский, 1978; Мирцхулава, 1978; Швебс, 1981; Сухановский, 2010; Литвин и др., 2013], так и за рубежом [Palmer, 1965; Bennett, 1974; Wischeier, Smith, 1978; Renard et al., 1997; Nearing, 2001; Kiesel et al., 2009]. Но до настоящего времени наименее исследованы и прогнозируемы пространственно-временные распределения интенсивности и слоя ливневых осадков; вынос биогенов в результате ливневой эрозии в условиях естественных дождей; отсутствуют данные многолетних наблюдений за стоком дождевых вод и смывом почв [Соловьева, 2013]. Дождевая эрозия является стоха-

DOI: 10.17223/25421379/21/6

стическим процессом, что обусловлено главным образом случайным характером выпадения ливней.

Изучение ливневой эрозии проводится различными методами – полевых наблюдений, экспериментальных (искусственного дождевания), моделирования, с применением ГИС-технологий.

В изучении и построении моделей ливневой эрозии имеются проблемы, которые связаны с рядом факторов:

1. Особенностями ливневой эрозии почв в отличие от стока талых вод являются неравномерность, кратковременность и изменчивость интенсивности выпадения ливней, этот процесс характеризуется ярко выраженной нестационарностью.

2. Установлено, что короткие ряды наблюдений длиной в 10–40 лет характеризуются высокой межгодовой изменчивостью (в большинстве случаев Cv > 1,5), что ведет к значительным ошибкам вычисления статистических параметров. С такими значениями Cv лишь ряды длиной в 150–200 лет могут дать достаточно точное значение средней многолетней величины гидрометеорологического фактора (с ошибкой менее 10–15 %), которое может быть пригодным для картографирования.

3. Основной вклад в средние многолетние показатели ливневой опасности вносят дожди с высокой интенсивностью (1,0 мм/мин и более). Кроме того, большое и увеличивающееся количество моделей при отсутствии общепринятой нормативной базы в области расчетов характеристик водной эрозии свидетельствует о недостаточной адекватности существующих моделей [Лисецкий и др., 2012].

Ливни – характерное явление и для территории Томской области в течение теплого периода года, но до настоящего времени их вклад в развитие водной эрозии почв в агроландшафтах изучен недостаточно. Цель работы – анализ расчетных и полевых данных по интенсивности ливневой эрозии в агроландшафтах юга Томской области и определение выноса биогенов дождевыми водами в твердом стоке.

Объект исследования, материалы и методы

Для реализации поставленной цели выполнен следующий объем работ: проведен анализ литературных источников по теме исследования, данных метеостанций, выполнены расчеты по оценке потенциального смыва почв дождевыми осадками по зависимости Г.А. Ларионова [1993] для основных типов почв региона, вовлеченных в агропроизводство; проведены полевые наблюдения за результатами смыва почв в агроландшафтах с пропашными, зерновыми и техническими культурами, развитием дорожной эрозии и другими процессами по ряду дождей в течение 1987–2020 гг.; впервые для данной территории определено содержание питательных для растений химических элементов в твердом стоке на разных элементах склонов пашни.

Объект исследования – южная часть территории Томской области, расположенная в подзоне южной тайги и зоне мелколиственных лесов юго-востока Западной-Сибирской равнины (рис. 1). В теплое время года над территорией Томской области формируется очаг интенсивной ливневой деятельности, сохраняющей свое местоположение [Трифонова, 1988; Азьмука, 1991]. Летом выпадает наибольшее количество осадков в годовом режиме увлажнения, варьирующее от 66 до 78 % (300–400 мм). Осадки летом выпадают преимущественно на холодных фронтах циклонов и носят ливневой характер.

В настоящее время нет единого определения ливня, согласно положению Росгидрометцентра РД 52.88.699-2008, за сильный ливень принимаются дожди с количеством осадков 30 мм за период не более 1 ч, а за очень сильные дожди – значительные осадки величиной не менее 50 мм за период времени не более 12 ч.

Наши исследования показали, что при изучении эрозии почв необходимо учитывать ливни со слоем осадков в 10 мм и более. Вслед за Л.И. Трифоновой [1988] осадки слоем 10 мм и более за сутки принимались нами за ливневые. Кроме того, ливни подразделены на крупные (20–30 мм) и выдающиеся (более 30 мм) [Евсеева, Ромашова, 2011]. В пределах южной части Томской области за лето в среднем выпадает 46–51 % осадков в виде ливней [Ромашова, 2004], а число дней с такими осадками достигало 6–7 при существенных пространственных вариациях.

Например, в 1996 г. в Бакчаре число дней с ливнями составило 9, а в Первомайском и Кожевниково – до 12–13. В отдельные дни на территории могут выпадать осадки почти месячной нормы. В целом исследуемый регион относится к району сильных ливней, за сутки здесь выпадает до 50–100 мм осадков [Природные опасности…, 2001], а временами и более. Так, 12 июля 2010 г. над территорией Томской области выпало до 160 мм осадков [Котилевская, 2010].

Анализ суточных норм осадков в южной части Томской области за 1960–2017 гг. показал, что из 57 лет наблюдений их количество превышало 20 мм, по данным станции Томск, в 82,5 % случаев, в Первомайском и Бакчаре в 84,2 %, в Пудино – в 93 % случаев. Значительную повторяемость имели место и выдающиеся ливни (табл. 1).

Показателен в этом плане и теплый период 2020 г., когда в мае наблюдалось 4 дня с ливнями со слоем осадков 10–14 мм и один день (22.05) со слоем 22,4 мм; в июне – 1 ливень (26.06) со слоем осадков 13 мм. Июль – месяц крупных и выдающихся ливней: 3 июля в Томске выпал 51 мм осадков, а 7, 21 и 30 июля 2020 г. – по 21 мм. Крупные и выдающиеся ливни весьма опасны в отношении развития эрозии почв как в агроландшафтах, так и дорожной эрозии. В табл. 2 приведены примеры крупных и выдающихся ливней за последние десятилетия, а также ливни, продолжавшиеся всего одну минуту, но высокой интенсивности.

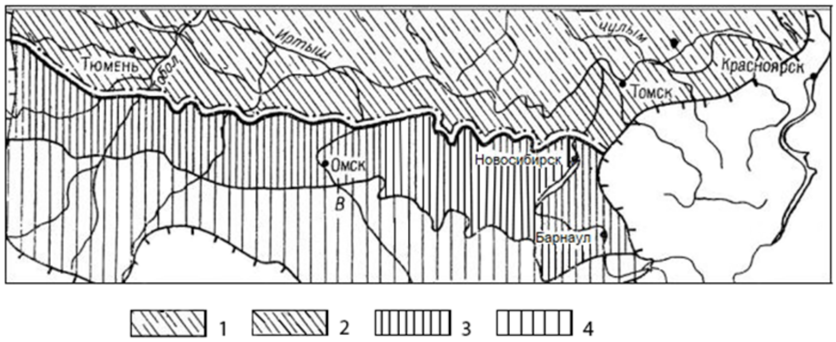

Рис. 1. Зонально-географическое деление юга Западно-Сибирской равнины [Ильина и др., 1985]
1 – южная тайга, 2 – подтайга, 3 – лесостепь, 4 – степь

Fig. 1. Zonal and geographical division of the south of the West Siberian Plain [Ilyina et al., 1985]
1 – southern taiga, 2–- subtaiga, 3 – Forest-steppe, 4 – steppe

Таблица 1

Число случаев ливней с разной суточной суммой атмосферных осадков за 1960–2017 гг.

Table 1

The number of rainfall events with different daily sum of atmospheric precipitation for 1960–2017

Суточная сумма осадков, мм	Число случаев по станциям			
	Томск	Первомайское	Бакчар	Пудино
10–20	11	9	8	4
20–30	22	31	22	22
>30	25	18	27	32
>50	5	1	5	5

Таблица 2

Примеры крупных и выдающихся ливней в южной части Томской области в течение 1987–2020 гг. [Евсеева, Ромашова, 2011; Государственный доклад…, 2016, 2019]

Table 2

Examples of large and outstanding rainfalls in the southern part of the Tomsk region during 1987–2020 [Evseyeva, Romashova, 2011; State report..., 2016, 2019]

Дата выпадения	Количество выпавших осадков, мм	Продолжительность выпадения осадков, мин	Дата выпадения	Количество выпавших осадков, мм	Продолжительность выпадения осадков, мин
ст. Томск			ст. Первомайское		
30.07.1987	53,7	330	13.08.2010	42,0	720
16.08.1994	80,5	1 440*	ст. Кожевниково		
13.06.2002	47,7	–	28.08.1989	41,7	1 440*
09.09.2002	26,0	350	02.07.1994	41,1	1 440*
12–13.07.2011	47,7	720	03.07.2020	20,0	–
03.06.2015	3,7	1	ст. Молчаново		
22.05.2020	22,4	1 440*	02.08.2015	68,7	635
03.07.2020	51,0	–	03.07.2020	15,0	–
07.07.2020	21,0	–	ст. Старица		
21.07.2020	21,0	–	02.07.2020	42,0	–
ст. Бакчар			АМСГ Томск		
24.07.1993	79,3	1 440*	21.07.1992	50,1	330
25.07.1996	78,7	60	09.09.2002	26,0	350
25.06.2017	84,0	720	ст. Подгорное		
05.07.2020	21,0	–	03.07.2020	33,0	–

* Выпадение осадков в течение суток.
* Precipitation during the day.

Средняя продолжительность дождя на территории Томской области изменяется от 4,7 до 8,9 ч в июне, от 4,3 до 7,3 ч в июле, от 5,1 до 7,3 ч – в августе. Наибольшую интенсивность имеют короткие ливневые дожди, что отмечают многие исследователи.

На сток и смыв почв большое влияние оказывают пики интенсивности в период выпадения дождя. Исследования показали, что в Томске максимальная интенсивность ливней имеет следующую повторяемость: на дожди с интенсивностью 0,11–0,5 мм/мин приходится 41,7 %; на 0,51–1,0 мм/мин – 21,7 %; на 1–3 мм/мин – 34,9 %, на дожди более 3 мм/мин – 1,7 % случаев [Ромашова, 2004]. Крупные и выдающиеся ливни наиболее опасны в отношении ливневой эрозии. Согласно Г.А. Ларионову [1993], эрозионный потенциал осадков (R_{30}) на территории Томской области изменяется от 4 до 6 единиц. Эти значения R коррелируют с таковыми для большей части центральных и южных районов Европейской России, что объясняется увеличением доли ливневых осадков, выпадающих в результате развития конвективных процессов во внутриконтинентальных воздушных массах [Ларионов, 1993].

Для оценки величины смыва почв со склонов пашни исследуемого региона (вследствие отсутствия данных об интенсивности выпадения осадков во время ливней) авторами использована зависимость Г.А. Ларионова [1993] и проведены полевые наблюдения за учетом эрозии по замеру объема струйчатых размывов. Замеры параметров размывов (ширины, глубины) проводились через 1–10 м с учетом их извилистости и мелких конусов выноса на склонах ложбин стока ливневых вод, в 2020 г. отобраны пробы делювия и почв на разных элементах рельефа пашни.

Г.А. Ларионовым для оценки потенциального смыва почв предложена следующая зависимость:

$$С = Д \times П \times Р \times Кд,$$

где С – модуль смыва от стока дождевых вод, т/га в год; Д – эрозионный потенциал осадков; П – смываемость почв, т/га за единицу эрозионного потенциала осадков; Р – эрозионный потенциал рельефа; Кд – почвозащитный коэффициент растительного покрова и агротехники [Ларионов, 1993].

Расчеты потенциального смыва проведены для основных типов почв, вовлеченных в агропроизводство, он значительно изменяется по подтипам и разностям: у серых лесных почв от 1,9 до 3,65 т/га на единицу эрозионного индекса осадков; у темносерых лесных – от 2 до 2,6; у светло-серых лесных – от 1,45 до 3,95; у дерново-подзолистых – от 2,1 до 4,9 т/га [Евсеева, Кнауб, 2004]. Эрозионный потенциал рельефа территории юга Томской области значителен, особенно на Томь-Яйском междуречье, где потенциальный смыв от стока дождевых осадков может достигать 12,73–32,16 т/га в год и более. Рассчитан коэффициент стока ливневых осадков для территории Томской области [Рутковская, 1984]. В зависимости от количества осадков, выпавших за ливень, он изменяется от 0,4 до 0,8. Установлено, что чем больше слой осадков дождя, тем больше воды попадает на поверхность почвы: при слое 3 мм – 45,5 %, 61,1 мм – 78 % [Швебс, 1981].

Результаты и их обсуждение

Полевые наблюдения за смывом почв ливневыми осадками в агроландшафтах. Наиболее изучен данный процесс в сельскохозяйственных угодьях (пашни) Томь-Яйского междуречья, в пределах которого они занимают около 30 % его площади. Наблюдения за результатами выпадения ряда ливней в 1987, 1990, 1992, 2002, 2003, 2013, 2015, 2020 гг. показали, что смыв почв на пашне за один и тот же ливень изменяется в зависимости от состояния агрофона, рельефа (длины, крутизны склонов, их формы), изменчивости интенсивности выпадения осадков в пространстве и т.д.

Ливневый вариант эрозии почв характеризуется высокой динамичностью процессов разрушения почвенного покрова. Специфика выпадения ливневых осадков обусловливает пространственную локализацию смыва почв. Эрозия почв, вызываемая выпадением жидких осадков, в настоящее время рассматривается как два процесса:

1. Отрыв частиц почвы от общей массы и перенос их водным потоком. Бомбардировка поверхности почвы каплями дождя приводит к развитию капельной эрозии [Заславский, 1978]. Капельная эрозия развивается и в агроландшафтах юга Томской области: после сильных ливней на пашне наблюдаются участки, где капли дождя, градины выбивают растения, а поднятые ударами капель, градин почвенные частицы откладываются на растениях. Такие «проплешины» на пашне после выпадения ливней наблюдались нами неоднократно в пределах агроландшафтов Томь-Яйского, Обь-Томского, Обь-Шегарского, Яя-Кийского междуречий.

По данным многих исследователей, 30 % энергии падающих капель расходуется на разбрызгивание почвы; мелкие частицы ее взлетают на высоту 1–1,5 м и отлетают в сторону до 1,5 м. На основе экспериментальных исследований установлены величины разбрызгивания почв для дождей разной интенсивности и продолжительности, например при интенсивности дождя в 1,03 мм/мин продолжительностью в 76 мин происходит разбрызгивание в 8,3 т/га, при интенсивности дождя в 2,5–2,6 мм/мин и продолжительностью 24 мин – 54,7 т/га; при интенсивности дождя в 2,5–2,6 мм/мин и слое осадков 64 мм с брызгами воды в воздух поднимается порядка 50 т/га почвы [Ларионов, 1993].

Как отмечалось выше, на ливни с интенсивностью 1–3 мм/мин в исследуемом регионе приходится около 35 %, а с интенсивностью более 3 мм/мин – 1,7 % всех ливней. Таким образом, они производят значительный подъем почвы на незащищенной растительностью пашне. Главное воздействие дождевых капель на почвы, по мнению исследователей, заключается в ее уплотнении, переносе частиц с более высоких местоположений в более низкие, что приводит к заилению и кольматации верхнего слоя почв, выравниванию поверхности и переувлажнению западин. До настоящего времени капельная эрозия в регионе не изучена.

2. Сток дождевой воды на склонах пашни происходит как на парах, так и под посевами различных сельскохозяйственных культур. В табл. 2 приведены примеры интенсивности смыва почв после ряда ливней на пашне Лучановского ключевого участка, расположенного в 20 км юго-восточнее г. Томска.

Показателен пример смыва почв после двух ливней начала июля 2020 г. (табл. 3), иллюстрирующий неравномерность выпадения осадков, состояние агрофона и условия рельефа и др. Так, на склоне пашни южной экспозиции площадью 16,9 га, занятой посевами льна, высотой 0,6–0,7 м в стадии бутонизации, образовались серия струйчатых размывов (рис. 2) и промоина у лесополосы. Струйчатые размывы в центральной части поля разгружались в ложбину, местами при впадении образуя мелкие конусы выноса, по форме напоминающие треугольники (рис. 3). Длина конусов в основании в среднем была равна 1 м, а высота 0,7–0,9 м; толщина делювия в них изменялась от 1 до 5 см. Общее количество конусов – 5 штук. В тальвеге ложбины образовался размыв длиной 171 м, шириной в среднем 1,73 м, средней глубиной 0,16 м, при максимальной – 0,4 м. Площадь бассейна ложбины около 5 га.

В результате за два ливня 3 и 7 июля 2020 г. с водосбора ложбины смыто до 9–10 м^3/га почвы, что привело к образованию у подножия склона обширного конуса выноса с толщиной делювия до 5–10 см. Конусы выноса других размывов, сливаясь, сформировали делювиальный шлейф (см. рис. 4). В целом смыв почвы со склона описываемого поля изменялся от 1–2 до 9–10 м^3/га. Неравномерность смыва связана с изменчивостью крутизны, длины и формы склона и, видимо, изменчивостью интенсивности ливня. На соседнем поле южной экспозиции с посевами злаковых в стадии кущения размывов было меньше, длина и глубина их также были невелики. Тем не менее в устье ложбины, осложняющей центральную часть поля, образовался конус выноса, толщина делювия в нем достигала 4–7 см (см. рис. 5). Истинные размеры конусов выноса вследствие зарослей травы, кустарников у подножия склонов определить не представлялось возможным. Некоторые исследователи [Литвин и др., 2013] также отмечают, что сильные ливни отличаются многоочаговостью, неравномерностью выпадения: суммы осадков за 1–2 ч по дождемерам, установленным на расстоянии 120 м друг от друга, могут отклоняться на 50 % от средней.

Отбор проб из конусов выноса у подножия склонов, на склонах ложбины и их анализ показали, что смытые почвы содержат химические элементы (биогены). Их содержание значительно и сопоставимо с таковыми в почвах плакоров пашни. Анализ табл. 4 показывает, что в составе делювия преобладают частицы более 0,01 мм – до 63,8 %, содержание гумуса близко его концентрации в верхних горизонтах почв пашни, а местами превышает эти значения, особенно в мелких конусах выноса в устьях струйчатых размывов, осложняющих склоны более крупных ложбин стока. В твердом стоке ливневых вод значительное содержание азота, фосфора (см. табл. 4). Ю.А. Соловьева [2013] отмечает, что при моделировании методом дождевания выноса биогенов в результате почвенной эрозии главное внимание необходимо уделять их потерям с твердым стоком. Кроме того, вынос питательных элементов для растений происходит и с жидким стоком.

Таблица 3

Примеры смыва почв на пашне исследуемого района с разным агрофоном после ливней

Table 3

Examples of soil washout on arable land in the study area with different agro background after showers

Дата выпадения	Количество осадков, мм	Продолжительность выпадения, мин	Агрофон	Объем смыва почв, м^3/га
Эффект ливней 30.06.1987 01.07.1987	74,3	570	Посадки картофеля на склоне длиной 300–500 м и крутизной 3–8°	До 40–100
			Южный склон под парами, длиной 50–100 м и крутизной 3–11°	24–26
14.06.1990	9,9	57	Посевы злаков в стадии кущения, на южном склоне пашни длиной около 300 м и крутизной 2–11°	1,0–4,0
			Посевы льна на северном склоне длиной 350–400 м и крутизной 2–8°	0,5–1,0

Дата выпадения	Количество осадков, мм	Продолжитель-ность выпадения, мин	Агрофон	Объем смыва почв, $м^3$/га
Эффект ливней 05.09.2002	9,6	*	Стерня после скошенного льна на северном склоне пашни длиной 350–400 м и крутизной 2– 8°	3,0–3,5
09.09.2002	26,0	350	Южный склон, агрофон тот же	5,0–8,0
22.06.2003	28,0	*	Посевы льна на южном слоне пашни длиной склона 400 м и крутизной 1°–6°	4,7
03.06.2015	3,7**	1	Боронованная зябь поперек южного склона длиной 300 м и крутизной 2–11°	0,5–2,0
Эффект ливней 03.07.2020	51,0	*	Посевы злаковых в стадии кущения на южном склоне 300 м и крутизной 2–11°	1,0–3,0
07.07.2020	21,0		Посевы льна на южном склоне длиной 400 м и крутизной 1–6°	1–5, местами до 8–9

* Продолжительность выпадения осадков не зафиксирована; ** – 1 мм осадков равен 10 т воды на 1 га [Грингоф, 2011].

* Duration of precipitation is not recorded; ** – 1 mm of precipitation is equal to 10 tons of water per 1 ha [Gringoff, 2011].

Рис. 2. Промоина в центре пашни южной экспозиции (фото З.Н. Квасниковой, 2020)

Fig. 2. Ravine in the center of arable land of the southern exposure (photo by Z.N. Kvasnikova, 2020)

Рис. 3. Фрагмент делювиального шлейфа в форме конуса (фото А.С. Батмановой, 2020)

Fig. 3. Fragment of the deluvial plume (photo by A.S. Batmanova, 2020)

Рис. 4. Делювиальный шлейф (фото З.Н. Квасниковой, 2020)

Fig. 4. Deluvial plume (photo by Z.N. Kvasnikova, 2020)

Рис. 5. Делювиальные отложения (фото А.С. Батмановой, 2020)

Fig. 5. Deluvial sediments (photo by A.S. Batmanova, 2020)

Таблица 4

Гранулометрический состав и содержание некоторых биогенов в составе делювиальных отложений и почвы (верхний горизонт) пашни Лучановского ключевого участка

Table 4

Granulometric composition and content of some nutrients as part of deluvial deposits and soil (upper horizon) of the arable land of the Luchanovsky key site

Содержание биогенов	Местоположение пробы*				
	1	2	3	4	5
Гумус, %	2,91	2,71	3,68	5,62	2,94
pH водная	6,35	6,51	6,30	6,06	6,04
Сумма Ca + Mg	20,4	20,4	22,4	25,2	20,8
Ca	16,4	17,2	17,6	20,4	16,4
Mg	4,0	3,2	4,8	4,8	4,4
N валовый, %	0,35	0,40	0,52	0,47	0,55
P валовый, %	0,24	0,28	0,26	0,33	0,21
Гранулометрический состав, %; размер, мм					
1–0,25	0,52	1,67	0,24	0,20	0,26
0,25–0,05	18,2	40,43	12,24	15,88	13,58
0,05–0,01	34,24	13,98	36,36	37,32	43,20
0,01–0,005	10,68	9,40	14,76	8,68	8,32
0,005–0,001	11,08	8,68	16,08	12,40	12,80
< 0,001	25,28	25,84	20,32	25,52	21,84

Примечание. * – 1 – устье ложбины стока на поле под посевами льна; 2 – конус выноса между устьем ложбины и промоины у лесополосы на поле с посевами льна; 3 – конус выноса в устье ложбины на поле с посевами злаковых; 4 – конус выноса на склоне ложбины поля с посевами льна; 5 – почва (верхний горизонт, до 10 см) с плакора пашни с посевами злаковых.

Note. * – 1 – the mouth of the runoff hollow in the field under flax crops; 2 – the Fan cone between the mouth of the hollow and the gully near the forest belt in the field with flax crops; 3 – the Fan cone at the mouth of a hollow in a field with crops of cereals; 4 – the Fan on the slope of a hollow of a field with flax crops; 5 – the Soil (upper horizon, up to 10 cm) from a plakor of arable land with crops of cereals.

Весьма интересны наблюдения климатолога В.В. Севастьянова за результатом ливня с градом 3 июля 2020 г. в районе дач на 41-м км железной дороги «Томск – Тайга». Ливень носил волновой характер, сопровождался градом и длился около 2 ч. После ливня канава длиной около 30 м, шириной 0,3 м и глубиной 0,2 м, проложенная вдоль пешеходной тропинки, была заполнена делювием, т.е. в нее поступило около 2 м^3 почвогрунта. На наш взгляд, это является результатом капельной эрозии и смывом почвы вдоль тропинки.

Помимо смыва почв, приводящего к деградации почвенного покрова, ливни в исследуемом районе создают чрезвычайные ситуации как в агроландшафтах, так и в селитебных зонах. Например, в с. Бакчар 25 июля 1996 г. за 2 ч 17 мин (с 19.43 до 21.00) выпало 86 мм осадков. Этот ливень вызвал 100 %-е полегание посевов, были повреждены зерновые на площади 2 900 га и кормовые – на 1 800 га. В июле 2011 г. на юге Томской области выпало 155–170 мм, или 240–270 % нормы. Ливень 27 июля со слоем осадков 21 мм за 82 мин прохождения вызвал ряд негативных явлений: в г. Томске было подтоплено 286 домов, размыта Эуштинская дамба, в пос. Кирзавода вода подтопила дома и уничтожила урожай на приусадебных участках, было затруднено передвижение по г. Томску, в ряде районов города, в Тимирязево, Дзержинском произошли отключения электроэнергии [В Томске…, 2011]. Чрезвычайная ситуация наблюдалась в Зырянском районе Томской области, когда 26.08.2018 г. с 16.00 до 17.00 прошел ливневый дождь с крупным градом и шквалистым ветром, что привело к гибели посевов сельскохозяйственных культур на общей площади 2 380 га. Ущерб составил 23,889 млн руб. [Государственный доклад…, 2019].

Значительный урон сельскому хозяйству и селитебным территориям могут принести и продолжительные дожди, когда за 3–5 сут может выпасть до 90–120 мм осадков. Такие дожди вызывают переувлажнение почв на сельхозугодиях, что приводит к срыву срока посевных и уборочных работ. Например, чрезвычайная ситуация сложилась в июне 2018 г. (с 09.06 по 16.06), охватившая 10 административных районов Томской области (Асиновский, Бакчарский, Зырянский, Кожевниковский, Колпашевский, Кривошеинский, Первомайский, Томский, Шегарский и Чаинский), когда в связи с переувлажнением почвы произошел срыв сроков посевных работ [Государственный доклад…, 2019].

Заключение

На территории Томской области – как очаге интенсивной ливневой деятельности – развита дождевая эрозия. Вследствие неравномерности распространения по площади, изменчивости интенсивности выпадения осадков, их кратковременности, ливневая эрозия, как правило, имеет очаговое развитие. Среднегодовой смыв почв дождевыми осадками в пределах области, согласно расчетным методам, у разных подтипов почв изменяется от 1,9 до 4,9 т/га, но на Томь-Яйском междуречье он может достигать 32,16 т/га и более. Согласно СНиП [1996], на территории Томской области развита ливневая эрозия от слабой (менее 2 м^3/га в год) до умеренно опасной (2–5 м^3/га), местами до очень опасной – до 32,7 м^3/га и более (Томь-Яйское междуречье).

Эрозионный индекс осадков на территории составляет 4–6 единиц, единичные ливни значительной силы могут вызвать большой объем стока и смыв почвы на склонах пашни, особенно по зяби и под пропашными культурами, значительно превышающими расчетные среднегодовые значения. Этот вывод подтверждается полевыми наблюдениями. Так, ливни, прошедшие 30 июня и 1 июля 1987 г. у села Лучаново, произвели смыв почвы под пропашными культурами до 40–100 м^3/га; в 2002 г. два дождя по стерне льна смыли со склонов пашни 3–8 м^3/га почвы. Даже очень короткие ливни, но большой интенсивности, способны смыть до 2 м^3/га почвы, подтверждением этому служит ливень 03.06.2015 г., когда за 1 мин выпало 3,7 мм осадков.

Ливни начала июля 2020 г. со склонов пашни ключевого участка крутизной от 1–3° до 5–8°, занятых посевами льна, смыли от 1 до 9 м^3/га почвы. Смыв почвенных частиц в пределах пашни неравномерен и зависит от рельефа и особенностей выпадения ливневых осадков (неравномерность, прерывистость). По мнению ряда исследователей, учет количества смытой почвы путем замера струйчатых размывов приближенный, так как данные могут быть занижены из-за не учета очень мелких размывов (глубина менее 0,5 см). Однако полученные нами впервые данные о величине смыва почв ливневыми осадками, содержании в твердом стоке питательных веществ, гранулометрическом составе делювия дают представление о роли ливней в деградации почв исследуемого района. Ливни также способствуют изменению микрорельефа пашни: углубляются существующие ложбины стока ливневых и талых вод, что приводит к увеличению крутизны склонов ложбин, а, следовательно, и к большему смыву почв с их склонов в будущем.

Установлено, что в рядах повторяемости экстремальных осадков прослеживается квазипериодичность, но предвидеть год (климатический прогноз), благоприятный для формирования экстремальных осадков или их территорию, где их вероятнее всего можно ожидать, не представляется возможным. Изучение синоптического положения в дни с экстремальными суммами осадков на территории юга Западной Сибири показало, что все рассмотренные случаи выпадения сильных осадков связаны с облачностью мезомасштабных конвективных комплексов, образовавшихся вне линий фронта. Сохранение тенденций увеличения повторяемости развития мощной мезомасштабной конвекции на территории исследования приведет к дальнейшему увеличению повторяемости таких опасных метеорологических явлений, как град, интенсивные ливни, шквалы и других, а также усилению ливневой эрозии почв агроландшафтов.

ЛИТЕРАТУРА

Азьмука Т.И. Ресурсы климата // Природные ресурсы Томской области. Новосибирск : Наука, 1991. С. 83–102.

В Томске устраняют последствия ливня, затопившего почти 300 домов // Агентство Интерфакс-Сибирь. URL: http://www.interfax-russia.ru/Siberia/main.asp?id=248255 (дата обращения: 10.12.2020).

Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2015 году». Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГБУ «Облкомприрода». Томск : Дельтаплан, 2016. 156 с.

Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2018 году». Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГБУ «Облкомприрода». Ижевск : Принт, 2019. 144 с.

Грингоф И.Г. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том 1. Потребности сельскохозяйственных культур в агрометеорологических условиях и опасные для сельского хозяйственного производства погодные условия. Обнинск : ФГБУ «ВНИИГМИ – МЦД», 2011. 808 с.

Евсеева Н.С, Ромашова Т.В. Опасные метеорологические явления как составная часть природного риска (на примере юга Томской области) // Вестник Томского государственного университета. 2011. № 353. С. 199–204.

Евсеева Н.С., Кнауб Р.В. Оценка потенциального смыва почв на юго-востоке таежной зоны Западно-Сибирской равнины от стока дождевых осадков (на примере Томской области) // Рельефообразующие процессы: теория, практика, методы исследования: Материалы XXVIII Пленума Геоморфологической комиссии РАН (г. Новосибирск, 20–24 сентября 2004 г.). Новосибирск, 2004. С. 105–107.

Заславский М.Н. Методические вопросы оценки факторов, определяющих эрозионную опасность земель // Эрозионные процессы Сибири. Новосибирск, 1978. С. 5–31.

Золина О.Г., Булыгина О.Н. Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России // Фундаментальная и прикладная климатология. 2016. Т. 1. С. 84–103.

Ильина И.С., Лапшина Е.И., Лавренко Н.Н. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск : Наука, 1985. 251 с.

Катцков В.М., Кобышева Н.В., Мелешко В.П. и др. Оценка макроэкономических последствий изменения климата на территории Российской Федерации. М. : Д'АРТ: Главная геофизическая обсерватория, 2011. 252 с.

Коршунов А.А., Коршунова Н.Н. Чрезвычайные ситуации в России, связанные с неблагоприятными условиями погоды в 2009, 2010, 2014, 2015 г. URL.: http://meteo.ru/climate/118-chrezvychajnye-situatsii-v-rossii/401-chrezvychajnye-situatsii-v-2009-godu (дата обращения: 20.05.2021).

Котилевская А.М. Погода на территории Российской Федерации в июле 2010 г. // Метеорология и гидрология. 2010. № 10. С. 103–107.

Кужевская И.В., Пустовалов К.Н., Шарапова А.А. Характеристики конвективных кластеров, восстановленные по данным инструментов зондирования ATOVS // Фундаментальная и прикладная климатология. 2018. Т. 2. С. 69–85.

Ларионов Г.А. Эрозия и дефляция почв: основные закономерности количественная оценка. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1993. 200 с.

Лисецкий Ф.Н., Светличный А.А., Черный С.Г. Современные проблемы эрозионоведения. Белгород : Константа, 2012. 456 с.

Литвин Л.Ф., Добровольская Н.Г., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф. Вариабельность факторов и количественные оценки эрозии // Двадцать восьмое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (г. Пермь, 8–10 октября 2013 г.). Пермь, 2013. С. 129–131.

Мирцхулава Ц.Е. Методические рекомендации по прогнозу водной (дождевой) эрозии почв. М. : ВАСХНИЛ, 1978. 61 с.

Природные опасности России. Гидрометеорологические опасности. Т. 5 / под ред. Г.С. Голицына, А.А. Васильева. М. : Издательская фирма «КРУК», 2001. 296 с.

Ромашова Т.В. Сезонные ритмы климата и их влияние на развитие эрозии почв (на примере юга Томской области) : дис. … канд. геогр. наук. Томск, 2004. 239 с.

Рутковская Н.В. География Томской области. Сезонно-агроклиматические ресурсы. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1984. 158 с.

СНиП 22-01-95. Геофизика опасных природных воздействий. М. : Минстрой России, 1996. 8 с.

Соловьева Ю.А. Изучение выноса биогенных элементов с использованием метода дождевания // Двадцать восьмое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (г. Пермь, 8–10 октября 2013 г.). Пермь, 2013. С. 158–159.

Сухановский Ю.П. Модель дождевой эрозии // Почвоведение. 2010. № 9. С. 1114–1125.

Трифонова Л.И. Климат // География Томской области. Томск, 1988. С. 42–76.

Швебс Г.И. Теоретические основы эрозиоведения. Киев; Одесса: Вища школа, 1981. 222 с.

Эрозия – актуальная проблема деградации почв // ГлавАгроном. URL: https://glavagronom.ru/articles/eroziya--aktualnaya-problema-degradacii-pochv (дата обращения: 13.12.2020).

Allan R.P., Soden B.J. Atmospheric Warming and the Amplification of Precipitation Extremes // Science. 2008. V. 321, Iss. 5895. P. 1481–1484. DOI: 10.1126/science.1160787.

Bennett J.P. Concepts of mathematical modeling of sediment yield // Water Resources Research. 1974. V. 10, is. 3. P. 485– 492.

Climate Change: IPCC Fourth Assessement Report, 2007. URL: https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar4/-syr.html (дата обращения: 10.12.2020).

Kiesel J., Schmalz B., Fohrer N. SEPAL – a simple GIS-based tool to estimate sediment pathways in lowland catchments // Advances in Geosciences. 2009. V. 21. P. 25–32.

Nearing M.A. Impacts of Climate Change on Erosivity in United States: 2000-2050 // Soil erosion research for the 21st century. Proceedings of the International Symposium. Honolulu, 2001. P. 268–270.

Palmer R.S. Waterdrop impact forces. Trans. ASAE, 1965. V. 8 (1). P. 69–72.

Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K., Yoder D.C., coordinators. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Dept. of Agriculture, Agric. 1997. Handbook No. 703, 404 pp.

Wischmeier W.N., Smith D.D. Predicting rainfall erosion losses // Agriculture handbook no. 537. Washington, DC, 1978. 65 p.

Авторы:
Евсеева Нина Степановна, доктор географических наук, профессор, заведующая кафедрой географии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.
Квасникова Зоя Николаевна, кандидат географических наук, доцент, кафедра географии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственныцй университет, Томск, Россия.
E-mail: zojkwas@rambler.ru
Кужевская Ирина Валерьевна, кандидат географических наук, доцент, кафедра метеорологии и климатологии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.
E-mail: ivk@ggf.tsu.ru

Geosphere Research, 2021, 4, 73–84. DOI: 10.17223/25421379/21/6

N.S. Evseyeva, Z.N. Kvasnikova, I.V. Kuzhevskaya

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

RAINFALLS AS A NATURAL RISK AND THEIR ECOLOGICAL ASPECTS (ON THE EXAMPLE SOUTHERN PART OF THE TOMSK REGION)

Water erosion is one of the main environmental problems that determine the national security of many countries of the world. Water erosion is subdivided into erosion from melt water runoff, storm (rain) and irrigation. Erosion threatens 75 % of agricultural and forest land in Central America, more than 20 % of Africa and 11 % of Asia. In the Russian Federation, water erosion affects about 17.8 % of agricultural land. Rainfalls are a dangerous hydrometeorological phenomenon, as they damage agriculture, washing away the fertile soil layer; contribute to a rise in the water level in rivers, flooding settlements, etc. Rainfall erosion is also developing on the territory of the Tomsk Region, where a focus of intense storm activity is formed in the warm season. In the Tomsk Region, the intensity of rainfall erosion in agricultural landscapes has not yet been sufficiently studied. According to forecasts of scientists, in the changing climate in the warm season, there will be an increase in precipitation of high intensity by 2–6 %, which will contribute to an increase in the impact of rainfall on agricultural lands. This article provides information on the number of days with showers, the layer of precipitation, the intensity and duration of precipitation, calculations were made to assess the potential soil washout by rainfall for the main soils of the region involved in agricultural production. The average annual soil washout by rainfall within the region according to calculation methods for different soil subtypes varies from 1.9 to 4.9 t/ha, but in the Tom-Yaysk interfluve (southeast of the Tomsk region) it can reach 32.16 t/ha and more. Thus, on the territory of the Tomsk region, storm erosion is developed from weak (less than 2 m^3/ha per year) to moderately dangerous (2–5 m^3 ha), in some places to very dangerous – up to 32.7 m^3/ha and more. Based on field observations of soil washout in agricultural land with tilled grain and industrial crops after showers of different strengths, data on soil washout are presented, as well as the results of analyzes on the granulometric composition and the content of macroelements (nutrients) in the deposits of fans formed at different locations of agricultural landscapes. In the composition of deluvial deposits, particles of more than 0.01 mm prevail – up to 63.8 %, the humus content is close to its concentration in the upper horizons of arable land (from 2.6 to 5.7 %), and in some places exceeds these values, especially in small cones removal at the mouths of streaky erosion. Solid runoff of storm water has a significant content of nitrogen (0.35–0.52 %), phosphorus (0.28–0.33 %).

Keywords: *water erosion, rainfall, agricultural landscapes, Tomsk region*

References

Az'muka T.I. *Resursy klimata* [Climate resources] // Prirodnyye resursy Tomskoy oblasti. Novosibirsk: Nauka, 1991. pp. 83–102. In Russian

V Tomske ustranyayut posledstviya livnya, zatopivshego pochti 300 domov [In Tomsk, the consequences of the downpour that flooded almost 300 houses are being eliminated] [Jelektronnyj resurs] // Agentstvo Interfaks-Sibir'. URL: http://www.interfax-russia.ru/Siberia/main.asp?id=248255 (Date of accessed: 10.12.2020). In Russian

Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy Tomskoy oblasti v 2015 godu». [State report "On the state and protection of the environment of the Tomsk region in 2015"] Departament prirodnykh resursov i okhrany okruzhayushchey sredy Tomskoy oblasti, OGBU “Oblkompriroda”. Tomsk: Del'taplan, 2016. 156 p. In Russian

Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy Tomskoy oblasti v 2018 godu” [State report "On the state and protection of the environment of the Tomsk region in 2018"] Departament prirodnykh resursov i okhrany okruzhayushchey sredy Tomskoy oblasti i, OGBU “Oblkompriroda”. Izhevsk: OOO “Print”, 2019. 144 p. In Russian

Gringof I.G. *Osnovy sel'skokhozyaystvennoy meteorologii.* [Fundamentals of Agricultural Meteorology] Tom 1. Potrebnosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v agrometeorologicheskikh usloviyakh i opasnyye dlya sel'skogo khozyaystvennogo proizvodstva pogodnyye usloviya. Obninsk: FGBU "VNIIGMI – MCD", 2011. 808 p. In Russian

Evseyeva N.S., Romashova T.V. *Opasnyye meteorologicheskiye yavleniya kak sostavnaya chast' prirodnogo riska (na primere yuga Tomskoy oblasti)* [Hazardous meteorological phenomena as an integral part of natural risk (for example, the south of the Tomsk region)] // Tomsk State University Bulletin. 2011. No 353. pp. 199–204. In Russian

Evseyeva N.S., Knaub R.V. *Otsenka potentsial'nogo smyva pochv na yugo-vostoke tayezhnoy zony Zapadno-Sibirskoy ravniny ot stoka dozhdevykh osadkov (na primere Tomskoy oblasti))* [Assessment of the potential soil washout in the southeast of the taiga zone of the West Siberian Plain from rainfall runoff (on the example of the Tomsk region)] // Materialy XXVIII Plenuma Geomorfologicheskoy komissii RAN. Novosibirsk, 20–24 sent. 2004 g. Novosibirsk, 2004. pp. 105–107. In Russian

Zaslavskiy M.N. *Metodicheskiye voprosy otsenki faktorov, opredelyayushchikh erozionnuyu opasnost' zemel'.* [Methodological issues of assessing the factors that determine the erosion hazard of lands] // Erozionnyye protsessy Sibiri. Novosibirsk, 1978. pp. 5–31. In Russian

Zolina O.G., Bulygina O.N. *Sovremennaya klimaticheskaya izmenchivost' kharakteristik ekstremal'nykh osadkov v Rossii* [Current climatic variability of extreme precipitation in Russia] // Fundamental and Applied Climatology. 2016. V. 1. pp. 84–103. In Russian

Il'ina I.S., Lapshina E.I., Lavrenko N.N. *Rastitel'nyy pokrov Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Vegetation cover of the West Siberian Plain] Novosibirsk: Nauka, 1985. 251 p. In Russian

Katckov V.M., Kobysheva N.V., Meleshko V.P. i dr. *Otsenka makroekonomicheskikh posledstviy izmeneniya klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii* [The Assessment of the macroeconomic consequences of climate change on the territory of the Russian Federation] Moscow : D, ART: Glavnaya geofizicheskaya observatoriya, 2011. 252 p. In Russian

Korshunov A.A., Korshunova N.N. *Chrezvychaynyye situatsii v Rossii, svyazannyye s neblagopriyatnymi usloviyami pogody v 2009 godu.* [Emergencies in Russia related to adverse weather conditions in 2009, 2010, 2014, 2015] [Jelektronnyj resurs] URL: http://meteo.ru/climate/118-chrezvychajnye-situatsii-v-rossii/401-chrezvychajnye-situatsii-v-2009-godu (Date of accessed: 20.05.2021).

Kotilevskaya A.M. *Pogoda na territorii Rossiyskoy Federatsii v iyule 2010* [The Weather in the Russian Federation in July 2010] // Russian Meteorology and Hydrology. 2010. No 10. pp. 103–107. In Russian

Kuzhevskaya I.V., Pustovalov K.N., Sharapova A.A. *Kharakteristiki konvektivnykh klasterov, vosstanovlennyye po dannym instrumentov zondirovaniya ATOVS* [Characteristics of convective lusters reconstructed from data obtained with ATOVS sensing tools] // Fundamental and Applied Climatology. 2018. V. 2. pp. 69–85. In Russian

Larionov G.A. *Eroziya i deflyatsiya pochv: osnovnyye zakonomernosti kolichestvennaya otsenka* [Soil erosion and deflation: the basic laws and quantitative evaluation] Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta. 1993. 200 p. In Russian

Lisetskiy F.N., Svetlichny A.A., Cherny S.G. *Sovremennyye problemy erozionovedeniya* [Modern problems of soil erosion science] Belgorod: Konstanta. 2012. 456 p. In Russian

Litvin L.F., Dobrovol'skaja N.G., Kirjuhina Z.P., Krasnov S.F. *Variabel'nost' faktorov i kolichestvennyye otsenki erozii* [Variability of factors and quantitative estimates of erosion] // Dvadtsat' vos'moye plenarnoye mezhvuzovskoye koordinatsionnoye soveshchaniye po probleme erozionnykh, ruslovykh i ust'yevykh protsessov (g. Perm', 8–10 oktyabrya 2013 g.). Perm: Permskiy gos. nats. issled. un-t, 2013. pp. 129–131. In Russian

Mirchulava C.E. *Metodicheskiye rekomendatsii po prognozu vodnoy (dozhdevoy) erozii pochv* [Methodical recommendations for forecasting water (rain) soil erosion]. Moscow: VASHNIL, 1978. 61 p. In Russian

Prirodnye opasnosti Rossii. Gidrometeorologicheskie opasnosti [Natural hazards of Russia. Hydrometeorological hazards] T. 5 / Pod red. G.S. Golicyna, A.A. Vasil'eva. Moscow: Izdatel'skaja firma «KRUK», 2001. 296 p. In Russian

Romashova T.V. *Sezonnyye ritmy klimata i ikh vliyaniye na razvitiye erozii pochv (na primere yuga Tomskoy oblasti)* [Seasonal rhythms of climate and their influence on the development of soil erosion (on the example of the south of the Tomsk region]): dis. … kand. geogr. nauk. Tomsk. 2004. 239 p. In Russian

Rutkovskaja N.V. *Geografiya Tomskoy oblasti. Sezonno-agroklimaticheskiye resursy* [Geography of the Tomsk region. Seasonal agroclimatic resources]. Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta. 1984. 158 p.

SNiP 22-01-95. *Geofizika opasnykh prirodnykh vozdeystviy* [Geophysics of Hazardous Natural Impacts]. Moscow : Minstroy Rossii. 1996. 8 p. In Russian

Solov'eva Ju. A. *Izucheniye vynosa biogennykh elementov s ispol'zovaniyem metoda dozhdevaniya* [Study of the removal of nutrients using the sprinkling method] // Dvadtsat' vos'moye plenarnoye mezhvuzovskoye koordinatsionnoye soveshchaniye po probleme erozionnykh, ruslovykh i ust'yevykh protsessov (g. Perm', 8–10 oktjabrja 2013 g.). Perm: Permskij gos. nac. issled. un-t, 2013. pp. 158–159. In Russian

Suhanovskij Ju.P. *Model' dozhdevoy erozii* [Rain Erosion Model] // Pochvovedenie. 2010. No 9. pp. 1114–1125. In Russian

Trifonova L.I. *Klimat* [Climate] // Geografiya Tomskoy oblasti. Tomsk, 1988. pp. 42–76. In Russian

Shvebs G.I. *Teoreticheskiye osnovy eroziovedeniya* [Theoretical bases of soil erosion science]. Kiev-Odessa: Vishha shkola, 1981. 222 p. In Russian

Eroziya – aktual'naya problema degradatsii pochv [The Erosion is an urgent problem of soil degradation] [Jelektronnyj resurs] // GlavAgronom. URL.: https://glavagronom.ru/articles/eroziya--aktualnaya-problema-degradacii-pochv (Date of accessed: 13.12.2020). In Russian

Allan R.P., Soden B.J. Atmospheric Warming and the Amplification of Precipitation Extremes // Science. 2008. V. 321, Iss. 5895. pp. 1481–1484.

Bennett J.P. Concepts of mathematical modeling of sediment yield // Water Resources Research. 1974. V.10, Iss. 3. pp. 485–492.

Climate Change: IPCC Fourth Assessement Report, 2007. URL.: https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar4/-syr.html (Date of accessed: 10.12.2020)

Kiesel J., Schmalz B., Fohrer N. SEPAL – a simple GIS-based tool to estimate sediment pathways in lowland catchments // Advances in Geosciences, 2009. V. 21. pp. 25–32.

Nearing M.A. Impacts of Climate Change on Erosivity in United States: 2000-2050 // Soil erosion research for the 21st century. Proceedings of the International Symposium. Honolulu, 2001. pp. 268–270.

Palmer R.S. Waterdrop impact forces. Trans. ASAE, 1965. V. 8(1). pp. 69–72.

Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K, and Yoder, D.C., coordinators. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Dept. of Agriculture, Agric. 1997. Handbook No. 703, 404 p.

Wischmeier W.N., Smith D.D. Predicting rainfall erosion losses // Agriculture handbook no. 537. Washington, DC, 1978. 65 p.

Author's:

Evseyeva Nina S., Dr. Sci. (Geography), Professor, Head of the Department of Geography, Geology and Geography Faculty, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

Kvasnikova Zoya N., Cand. Sci. (Geography), Associate Professor, Department of Geography, Geology and Geography Faculty, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: zojkwas@rambler.ru

Kuzhevskaia Irina V., Cand. Sci. (Geography), Associate Professor, Department of Meteorology and Climatology, Geology and Geography Faculty, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: ivk@ggf.tsu.ru