

Н.С. Евсеева¹, А.И. Петров¹, А.В. Хон^{1,2}, М.А. Каширо¹, З.Н. Квасникова¹✉

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

²Институт мониторинга климатических и экологических систем

СО РАН, Томск, Россия

✉ zojkwas@rambler.ru

ВОДНАЯ ЭРОЗИЯ ПОЧВ ОТ СТОКА ТАЛЫХ СНЕГОВЫХ ВОД В АГРОЛАНДШАФТАХ ЮГО-ВОСТОКА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. В статье изложены итоги многолетних исследований водной эрозии почв от стока талых снеговых вод в агроландшафтах юго-востока Томской области. Эрозия почв является одним из основных процессов, способствующих уничтожению почвенного покрова и негативно влияющих на экологическую и продовольственную безопасность. Поэтому изучение опасных процессов деградации почвенного покрова под влиянием смыва осадками является актуальным научным направлением, что отражено в программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период. Оценка интенсивности развития эрозии почв в бассейне р. Басандайка проводилась на основе многолетних исследований с использованием комплексного подхода, включающего полустационарные и маршрутные наблюдения. Установлено, что интенсивность снеготаяния и развитие эрозии почв в исследуемом районе зависят от сочетания природных и антропогенных факторов, таких как экспозиция склона, крутизна, микрорельеф, агрофон, глубина промерзания почв, толщина снежного покрова и его плотность. Выявлено, что наибольшая интенсивность смыва почв наблюдается на склонах южной экспозиции, особенно в годы с активным снеготаянием по боронованной зяби. Так, наибольшая величина смыва почв за период с 1988 по 2024 годы на склонах южной экспозиции сельскохозяйственных угодий наблюдалась у лесополос и достигала 40-80 м³/га по зяби, а по стерне и травам – 0,5-3 м³/га. Чередование полос стерни и зяби на пашне существенно снижает интенсивность смыва.

Определены значения модулей максимального смыва почв заданной ежегодной вероятности превышения для разных ключевых участков. Такие исследования необходимы для разработки рекомендаций по оптимизации агротехнических мероприятий и моделей для прогнозирования развития эрозии почв в условиях глобального изменения климата.

Ключевые слова: Томская область, агроландшафты, водная эрозия, смыв почв.

Для цитирования: Евсеева Н.С., Петров А.И., Хон А.В., Каширо М.А., Квасникова З.Н. Водная эрозия почв от стока талых снеговых вод в агроландшафтах юго-востока Томской области. *Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле»*. 2024, № 4. С. 104–119. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-104-119

N.S. Evseeva¹, A.I. Petrov¹, A.V. Hon^{1,2}, M.A. Kashiro¹, Z.N. Kvasnikova¹✉

¹National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

²Institute for Monitoring of Climate and Ecological Systems

SB RAS, Tomsk, Russia

✉ zojkwas@rambler.ru

WATER EROSION OF SOILS FROM RUNOFF OF MELT SNOW WATER IN AGROLANDSCAPES OF SOUTHEASTERN TOMSK OBLAST

Abstract. The article presents the results of long-term studies of water erosion of soils from meltwater runoff in agricultural landscapes of the southeast of Tomsk Oblast. Soil erosion is one of the main processes that contribute to the destruction of the soil cover and negatively affect environmental and food security. Therefore, the study of dangerous processes of soil degradation under the influence of precipitation washout is a relevant scientific area, which is reflected in the program of fundamental scientific research in the Russian Federation for the long term. The assessment of the intensity of soil erosion in the Basandaika River basin was carried out on the basis of long-

term studies using an integrated approach, including semi-stationary and route observations. It was found that the intensity of snowmelt and the development of soil erosion in the study area depend on a combination of natural and anthropogenic factors, such as slope exposure, steepness, microrelief, agricultural background, soil freezing depth, snow cover thickness and density. It was found that the highest intensity of soil erosion is observed on southern slopes, especially in years with active snowmelt on harrowed fallow land. Thus, the highest value of soil erosion for the period from 1988 to 2024 on southern slopes of agricultural lands was observed near forest belts and reached 40-80 m³/ha for fallow land, and 0.5-3 m³/ha for stubble and grass. Alternating strips of stubble and fallow land on arable land significantly reduces the intensity of erosion. The values of the modules of maximum soil erosion of a given annual probability of exceedance for different key areas were determined. Such studies are necessary for developing recommendations for optimizing agrotechnical measures and models for predicting the development of soil erosion in the context of global climate change.

Keywords: Tomsk Oblast, agricultural landscapes, water erosion, soil loss.

For citation: Evseeva N.S., Petrov A.I., Hon A.V., Kashiro M.A., Kvasnikova Z.N. Water erosion of soils from runoff of melt snow water in agrolandscapes of southeastern Tomsk Oblast *Vestnik of NEFU. Earth Sciences*. 2024, № 4. Pp. 104–119. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-104-119

Введение

Изучение опасных процессов деградации почв является актуальным научным направлением, что отражено в программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период [1]. К таким процессам относится водная и ветровая эрозия почв, способствующая уничтожению почвенного покрова. Развита эрозия почв и на территории России: почвенный фонд составляет 16 млн. км², с освоенной и нарушенной гумусосферой – 6 млн. км², а полностью уничтожен гумусовый горизонт на площади 3,1 млн км² [2].

Глобальные изменения климата и развитие агротехнических технологий сопровождаются увеличением экологических рисков ускоренного развития эрозионных процессов, что усложняет устойчивое развитие сельских территорий и обостряет региональные проблемы продовольственной и экологической безопасности на основной территории России и других стран [3, 4]. Около 2/3 явлений эрозии вызвано действием воды [3]. По видам поверхностного стока различают три вида водной эрозии: тальными снеговыми водами, дождевыми водами (ливни и ливневые дожди), ирригационную. Анализ опубликованных данных по эрозии почв в пределах нашей страны показывает, что она развита практически на всех сельскохозяйственных угодьях, в том числе и на юго-востоке Западно-Сибирской равнины, где расположена Томская область.

Объект, материалы и методы исследования

Объект исследования – юго-восточная часть территории Томской области, где сосредоточены основные сельскохозяйственные угодья (1236,1 тыс. га) [5], в пределах которых эрозионные процессы приводят к уменьшению содержания гумуса в пахотном слое почв [6]. С пахотных угодий Томской области площадью 671,1 тыс. га в 1980 г. было смыто 1946 тыс. тонн почвы, в 2012 г. с площади пашни 429,8 тыс. га – 1160,4 тыс. тонн почвы [7]. В настоящее время площадь пашни в Томской области составляет 646,3 тыс. га [5]. В агропроизводство в пределах исследуемой территории вовлечены серые лесные оподзоленные почвы – это основа пахотных угодий. Согласно В.А. Хмелеву, водно-эрозионными процессами в той или иной степени подвержено 150 тыс. га пахотных земель и примерно 200 тыс. га пахотных земель эрозионно опасны [6].

Цель данной работы – оценка интенсивности развития эрозии почв от стока талых снеговых вод в агроландшафтах Томского района (на примере ключевого участка) с учетом агрофона и микрорельефа. Для реализации поставленной цели авторами данной работы, начиная с 1985 г. ведутся наблюдения за развитием эрозии почв при снеготаянии. Полустационарные наблюдения проводятся в бассейне р. Басандайки площадью 402 км² на 4-х ключевых участках, расположенных на распаханых склонах разной экспозиции – южной и северной – это 2 ключевых участка в «Лучаново», «10-й километр», «Лесопитомник». Маршрутные обследования пашни

после снеготаяния проведены также в пределах агроландшафтов Асиновского, Зырянского, Томского и Кожевниковского районов юга Томской области. В данной работе будут рассмотрены материалы, полученные за период с 1988 по 2024 гг. на ключевом участке «Лучаново»: данные по накоплению снежного покрова, влагозапасам, интенсивности снеготаяния, а также динамики развития эрозии почв при снеготаянии и влияние на этот процесс микрорельефа пашни и состояния агрофона.

Авторами работы были использованы следующие методы: снегомерные работы в микромасштабе (замеры мощности снежного покрова через 5-10 м. в зависимости от микрорельефа пашни). По данным снегосъемок рассчитывались снегозапасы на ключевых участках; по методам Е.В. Попова и В.Д. Комарова [8] определялась среднесуточная интенсивность снеготаяния, в период схода снежного покрова измерялись скорости поверхностного стекания воды по склонам в микроруслах, дренирующих пашню. После снеготаяния проводился учет величины эрозии по замеру объема струйчатых размывов через 1-5 м. по их длине с учетом параметров микрорусла. На основании многолетних полевых измерений выполнялись расчеты модуля смыва заданной вероятности превышения согласно [9].

Развитие эрозии почв от стока талых снеговых вод обусловлено сочетанием природных и антропогенных факторов. Из природных факторов наиболее важны: климатические (осадки, выпадающие в зимний период, температурный режим, глубина промерзания почв и пр.); генезис покровных отложений; рельеф (крутизна, длина, форма склонов, горизонтальное расчленение и др.); почвенные условия (гранулометрический состав, содержание гумуса и др.), а также антропогенная сельскохозяйственная деятельность. Причем, неодинаковые виды обработки земли оказывают различное влияние на эрозионные процессы. Рассмотрим перечисленные факторы на примере одного из ключевых участков бассейна р. Басандайка, типичного для Томь-Яйского междуречья в пределах юго-востока Томской области (рис. 1).



Рис. 1. Местоположение ключевого участка «Лучаново» в пределах Томь-Яйского междуречья

Figure 1. Location of the key Luchanovo site within the Tom-Yaya interfluvium

Ключевой участок «Лучаново» расположен в 20 км к юго-востоку от г. Томска в пределах водораздельной равнины между р. Томь и р. Басандайка. Абсолютная высота рельефа местности здесь изменяется от 120 до 160 м., а относительные – от 0,2-1,0 до 25-30 м. Подробно природные условия, способствующие развитию водной эрозии охарактеризованы нами ранее [10-12].

Результаты исследования и их обсуждение

Необходимым элементом оценки эрозии почв талыми водами является наблюдение за динамикой снежного покрова (СП) и процесса снеготаяния в сочетании с учетом геокриологической обстановки. Проведенные в 1988-2024 годы в различных ландшафтных условиях ежегодные

снегомерные работы в конце зимы на момент его наибольшего накопления выявили существенные временные вариации мощности снежного покрова в различных урочищах (рис. 2).

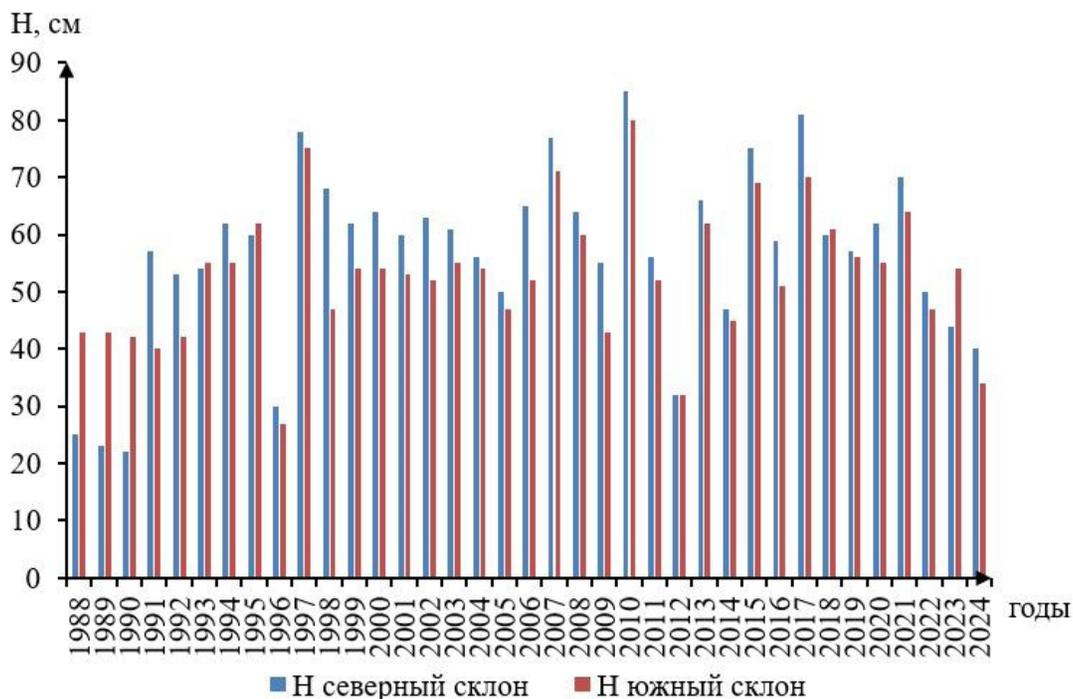


Рис. 2. Толщина снежного покрова на ключевом участке «Лучаново»

Figure 2. Snow cover thickness in the key Luchanovo site

Наибольшая мощность СП на изучаемом ключевом участке «Лучаново» наблюдалась в конце зимы 2009-2010 года и составила на пашне северного склона 85 см., на южном – 80 см. При сравнении данных мощности СП за период наблюдения на распаханых полевых участках северного и южного склонов отмечается, что в 78 % случаев на распаханном склоне пашни северной экспозиции мощность снежного покрова выше, чем на распаханых склонах пашни южной экспозиции. Пространственное распределение мощности СП по поверхности пашни также отличается большой неравномерностью – от нескольких сантиметров на повышенных продуваемых участках до 200-240 см. в сугробах у лесополос (рис. 3а). Сугробы в депрессиях рельефа и у лесополос сохраняются до первой декады мая (2003, 2004, 2008, 2010, 2023 гг.) (рис. 3б). Плотность СП в конце зимы перед началом снеготаяния на пашне варьирует от 0,20 до 0,32 г/см³, достигая в разные годы в отдельных точках на склонах южной экспозиции 0,4 г/см³.

Основная черта современной геокриологической обстановки на исследуемой территории формирование длительного сезонного промерзания поверхностных пород. Глубина их промерзания зависит от различий в толщине снежного покрова, температурном режиме, гранулометрическом составе почвогрунтов, микрорельефе пашни, влажности почв.

Эти и другие различия определяют значительную изменчивость глубины промерзания почв в пространстве и времени. Так, в 2005 г. глубина промерзания почв составила 51-100 см. В теплую зиму 2008 г – от 23 до 94 см., в 2010 г. (на редкость холодную зиму за последние 100 лет) – 75-150 см [13]. В зиму 2011-2012 г. погодные условия обусловили слабое снегонакопление, что способствовало глубокому промерзанию почвы: глубина промерзания была на 20-30 см. больше среднееголетней [14]. В 2015 г. – на распаханном плакоре пашни Лучановского участка в разрезе глубиной более 2 м. были вскрыты морозобойные трещины. Глубина их про-

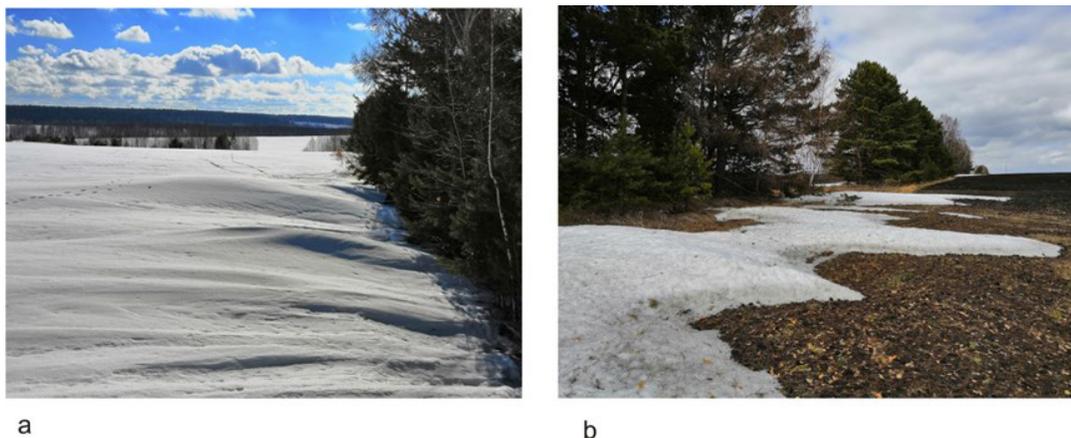


Рис. 3. Сугробы на распаханном склоне южной экспозиции Лучановского участка:
 а) 16 марта 2019; б) 27 апреля 2019 (фото М.А. Каширо)

Figure 3. Snowdrifts on the plowed slope of the southern exposure of the Luchanovso site:
 а) March 16, 2019; б) April 27, 2019 (photo by M.A. Kashiro)

никовения составила 85 см. [15]. Анализ литературных источников и полевых наблюдений авторов показал, что при мощности снежного покрова от 0 до 30 см. глубина промерзания почв составляет 100-200 см., при мощности СП от 30 до 50 см – 70-135 см., при мощности СП 50-60 см глубина промерзания наблюдалась 40-60 см [16, 17]. Средняя дата устойчивого промерзания почвы приходится на 1 ноября, самая поздняя – на 15 ноября, самая ранняя на 15 октября. Средняя из максимальных глубин промерзания составляет 108 см и отмечается в марте [18]. Продолжительность оттаивания почв варьирует от 17 до 59 дней, составляя в среднем 35 дней. В результате в пределах агроландшафтов Лучановского участка талый сток воды и смыв почв происходит ежегодно, но с разной степенью интенсивности, зависящей от сочетания разных факторов, в том числе от состояния агрофона. Подробные сведения о динамике мощности снежного покрова в сочетании со сведениями о плотности снега и промерзании могут оказаться единственным имеющимся материалом при оценке плоскостной эрозии. С их помощью уже можно получить приближенную количественную характеристику влагозапаса в снежном покрове, что, в свою очередь, позволит оценить потенциальный смыв.

Мощность СП и его плотность определяют влагозапас, который также колеблется по годам и зависит от особенности местоположений урочищ. В частности, на пашне южного склона влагозапас изменяется от 61 до 200 мм., составляя в среднем 143 мм.; на пашне северного склона – от 61 до 220 мм. в среднем 153 мм. (рис. 4); в кедровом лесу – от 51 до 171 мм., в среднем – 122 мм. слоя воды.

В таблице 1 приведены оценки параметров кривых распределения влагозапасов в различных урочищах на ключевом участке «Лучаново», определенных в соответствии со Сводом правил [9] по определению основных гидрометеорологических характеристик. Перед определением оценок параметров ряды проверялись на генетическую и статистическую однородность по статистическим критериям Стьюдента (однородность по среднему значению) и Фишера (однородность по дисперсии). Проверка показала, что ряды однородны по условиям формирования снежного покрова [9]. Статистическая однородность рядов наблюдений за параметрами снежного покрова позволяют делать уверенную оценку как среднего значения, так и значений с заданной вероятностью превышения. Далее по методу моментов были определены параметры распределения и их относительные среднеквадратические ошибки. Ошибки оценок параметров не превышали допустимых.

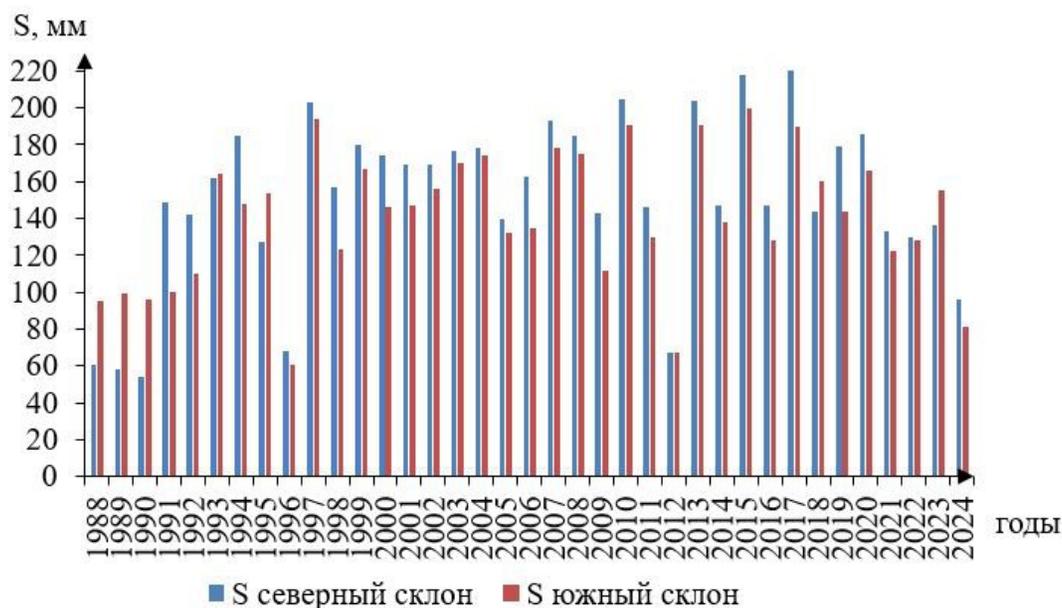


Рис. 4. Динамика влагозапаса в снежном покрове на распаханных склонах разной экспозиции ключевого участка «Лучаново»

Figure 4. Dynamics of moisture reserves in the snow cover on plowed slopes of different exposures the key Luchanovo site

Таблица 1 – Параметры кривых распределения влагозапасов на склонах разной экспозиции ключевого участка «Лучаново» за 1988–2024 гг.

Table 1 – Parameters of moisture distribution curves on slopes of different exposures of the key Luchanovo site for 1988–2024

Урочища	Параметры запасов воды в снежном покрове						
	*Scp, мм	δ Scp	Cv	δ Cv	Cs	Cs/Cv	r(1)
Поле (пашня) южный склон	81	6,43	0,74	7,51	0,91	1,23	0,55
Поле (пашня) северный склон	96	6,22	0,56	9,00	0,22	0,39	0,55

*Примечания: *Scp* – среднемноголетнее значение водозапаса, *δ Scp* – ошибка определения среднего значения, *Cv* – коэффициент вариации (безразмерная величина, характеризующая разброс значений), *Cs* – коэффициент асимметрии, указывающий на преобладание значений больше или меньше среднего, *r(1)* – коэффициент автокорреляции первого порядка, указывающий на степень зависимости последующего члена временного ряда от предыдущего.

Помимо влагозапаса в снежном покрове важен режим поступления влаги, который зависит от интенсивности снеготаяния, а также от глубины оттаивания почв. Интенсивность снеготаяния в работе определялась по методу температурного коэффициента [19, 20]. Расчеты суточной интенсивности снеготаяния показали близкие результаты (табл. 2). Высокие показатели интенсивности снеготаяния (20 мм./сут и более) наблюдались и в другие годы.

Таблица 2 – Примеры интенсивности снеготаяния, мм./сут в разные годы, определенные разными методами

Table 2 – Examples of snowmelt intensity, mm/day in different years, determined by different methods

Интенсивность снеготаяния по методу Е.Г. Попова [20]	Интенсивность снеготаяния по методу В.Д. Комарова [20]
Наибольшая – 22,9 (1994-1995)	Наибольшая – 22,6 (1994-1995)
Наименьшая – 8,7 (1997-1998)	Наименьшая – 9,8 (1997-1998)
Средняя – 15,9 (1988-2017)	Средняя – 12,9 (1988-2017)

Наибольшая суточная интенсивность снеготаяния наблюдалась для открытого участка пашни (северный склон) – 29,5 мм./сут. и, соответственно, для южного склона – 52,5 мм./сут. Причем эта максимальная суточная интенсивность приходится на середину второй фазы таяния СП. При расчете разными методами интенсивности снеготаяния необходимо учитывать, что в заключительную фазу снеготаяния за отдельные сутки интенсивность получается чуть выше (на 3-5 мм). В это период времени на открытых участках пашни снежный покров почти полностью сошел, остались только отдельные пятна снега, сохранившиеся близ лесных полос и в значительных понижениях рельефа (см. рис. 3b). В заключительную фазу снеготаяния водоотдача значительно превосходит интенсивность снеготаяния на склонах наблюдается ручейковый сток. Проведенные нами измерения интенсивности снеготаяния в дневные часы показали, что за 2 ч. 45 мин. слой стаивания изменялся от 12 до 17 мм., что составляет от 23 до 50 % суточной величины. Распаханные почвы в зависимости от экспозиции склона в это время оттаивают на глубину от 1-5 до 15-35 см.

Вспомогательным направлением исследований следует считать наблюдения за динамикой склоновых потоков. Многолетние наблюдения за склоновым стоком позволяют сопоставить крутизну склонов и скорости водного потока в микроручейковой сети. В ходе полевых исследований нами наблюдалось следующее соответствие диапазона скоростей течения и крутизны склона: при крутизне до 1° диапазон скоростей составляет от 0,01 до 0,15 м/с; при крутизне 1-2° наблюдались скорости 0,1-0,2 м/с; при крутизне 1-3° – скорости 0,25-0,4 м/с; при крутизне 3-5° скорости 0,3-0,5 м/с. Замечено, что при скоростях 0,7-1,5 м/с на склонах с крутизной 5-7° и более образуются промоины глубиной до 1,5 м. с порожистым руслом (рис. 5 а) и формированием «глинистых галек» диаметром до 3-5 мм. и более.

Расходы воды в ручейковых потоках находятся в очень широких пределах от 0,3 до 131 л/с. Широта диапазона наблюдаемых значений расхода воды в склоновом стоке отражает большие различия в условиях водоподдачи из снежного покрова и в условиях движения потока талых вод по подстилающей поверхности. В частности, существенные различия в интенсивности водоподдачи обусловлены накоплением влаги в упомянутых выше сугробах. Таким образом, для центральных частей распаханных участков характерны расходы от 1,2-1,5 л/с до 3-4 л/с, что влечет формирование борозд глубиной до 10 см/. В то же время у опушек леса и лесополос значения поднимаются до 13-17 л/с достигая в отдельных местах 131 л/с. Такие потоки, формируют уже не эфемерную сеть мелких борозд, а промоины шириной от 0,3 до 0,85 м. и глубиной от 0,4 м. и более, достигая в отдельных местах 1,5 м. (рис. 5b).

Русла промоин, в свою очередь, способствуют дальнейшей концентрации стока и увеличению его эрозионной и транспортирующей работы. Мутность воды в микроручейках в зависимости от крутизны склона и скорости воды по данным наблюдений изменялась в широком диапазоне – от долей грамма на литр до 64,9 г/л. Приведенное сопоставление представляет собой дополнительный путь оценки смыва и иллюстрацию достоверности получаемых результатов.

Самым надежным, на настоящий момент, исследованием интенсивности смыва почв является обмер эрозионных форм рельефа. Объем смыва почв тальными снеговыми водами

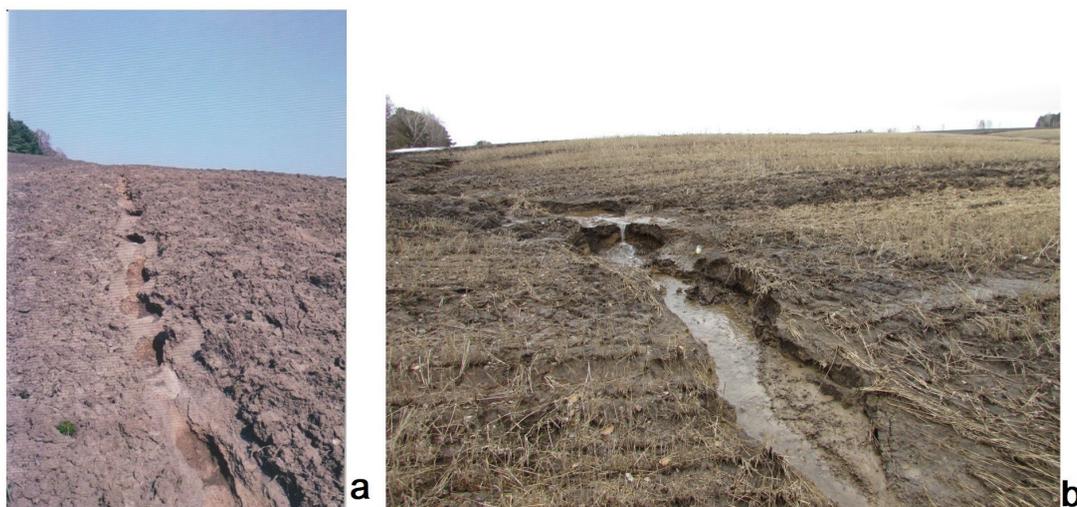


Рис. 5. Порожистые промоины (а) (май 2023, фото З.Н. Квасниковой) (b) (апрель 2021, фото З.Н. Квасниковой)

Figure 5 Raptids ravine (a) (May 2023, photo by Z.N. Kvasnikova) (b) (April 2021, photo by Z.N. Kvasnikova)

контролируется экспозицией склона, его крутизной и формой, запасами воды в снежном покрове, интенсивностью снеготаяния, глубиной оттаивания почв, состоянием агрофона. Снеготаяние на склонах южной экспозиции происходит раньше, чем на северных и длится 10-15 дней, но в отдельные годы может быть и меньше 5-7 дней (2012 г.), а на северных склонах достигает 56 дней (2002 г.) составляя в среднем 30-32 дня. По данным наблюдений смыв почв наиболее интенсивно протекает в годы с коротким периодом снеготаяния по зяби и оказывается значительным даже в годы с относительно небольшими запасами влаги в снежном покрове, например, в 2012 г (табл. 3). Обмер водороин, производимый после каждого снеготаяния, позволил получить статистические характеристики процесса талой эрозии, которые отражают совокупное влияние экспозиции склонов, микрорельефа пашни и агрофона.

Таблица 3 – Определение интенсивности смыва почв методом обмера водороин за период с 1988 по 2019, с 2021 по 2023 годы

Table 3 – Determination of the intensity of soil loss using the method of measuring waterfalls for the period from 1988 to 2019, from 2021 to 2023

Ключевые участки – урочища	$q_{ср}, \text{ м}^3/\text{га}$	$\delta_{ср}, \%$	C_v	$\delta_{св}, \%$	C_s/C_v	$r_{(1)}$
Поле (пашня) склон южной экспозиции	16,8	17,1	1,0	17,1	2,0	0,47
Поле (пашня) между кедровым лесом и лесополосой склон южной экспозиции	7,8	11,8	0,70	14,6	1,0	0,26
Поле (пашня) склон северной экспозиции	3,7	15,2	0,90	16,1	2,0	-0,12

Примечание: обозначения в этой таблице те же, что и в таблице 3, но все величины относятся к интенсивности смыва.

Статистический анализ включает оценку параметров кривых распределения вероятностей ежегодного превышения тех или иных значений модуля смыва принятой обеспеченности. Модули смыва почв заданной обеспеченности определены по аналитическим кривым

трех параметрического гамма – распределения С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля [9]. В таблице 3 приведены оценки параметров кривых распределений вероятностей ежегодного превышения максимальных модулей смыва почвы талыми снеговыми водами, рассчитанные по материалам наблюдений за 35-летний период на ключевом участке Лучаново. То есть, из всей совокупности значений модуля смыва, получаемых в результате ежегодного обмера микрорусел в статистическую обработку включены наибольшие за каждый год значения.

Цель – зафиксировать наиболее опасный вариант развития эрозионного процесса. Влияние экспозиции обнаруживается уже на этапе оценки кривых распределения. Средние значения модуля смыва кратны меньше значений на склоне южной экспозиции, несмотря на то, что как мощность снежного покрова, так и водозапас на северном склоне выше, чем на южном. Объяснить этот эффект можно упомянутой выше существенной разницей в интенсивности снеготаяния, а, следовательно, и водоподачи на поверхность склонов северной и южной экспозиции. Обращает на себя внимание большая разница в значениях двух участков, имеющих одну и ту же – южную экспозицию. Различия видны не только в средних значениях, но и в коэффициенте вариации временного ряда. Эти различия носят уже не только вероятностный, но и детерминированный характер, который мы попытаемся раскрыть ниже.

В таблице 4 приведены значения максимальных модулей смыва почв талыми снеговыми водами заданной ежегодной вероятности превышения ($q_{\text{maxP} \%}$). Модули смыва почв для разных ключевых участков превышающие значения один раз в $n = 100$ лет, составляют 15,4-77,3 м³/га. Полученные значения максимального модуля смыва подчёркивают указанные выше различия, обусловленные различными сочетаниями влияния экспозиции склонов, агрофоном и микро-рельефом поверхности склонов. Эти факторы и их сочетания следует рассмотреть подробнее.

С целью отражения влияния упомянутых факторов требуется рассмотреть временной ряд значений модуля смыва и пространственные сочетания агрофона и микро-рельефа за отдельные годы. Так, временной ряд значений максимального смыва ярко иллюстрирует влияние агрофона, которое не нивелируется никакими другими факторами (рис. 6).

Таблица 4 – Обеспеченные значения модулей максимального смыва почвы, определённые по материалам наблюдений за период с 1988 по 2019, с 2021 по 2023 годы

Table 4 – Provided values of the modules of maximum soil loss, determined from observation materials for the period from 1988 to 2019, from 2021 to 2023

Ключевые участки – урочища	Модули максимального смыва почв принятой обеспеченности ($q_p\%$), м ³ /га						
	0,1 %	1 %	5 %	25 %	50 %	75 %	95 %
Поле (пашня) склон южной экспозиции	116	77,3	50,4	23,4	11,6	4,9	0,86
Поле (пашня) между кедровым лесом и лесополосой склон южной экспозиции	27,0	22,3	17,8	11,3	6,9	3,3	0,6
Поле (пашня) склон северной экспозиции	31,0	15,4	10,3	5,1	2,8	1,3	0,3

Наиболее интенсивен смыв при агрофоне, представленном зябью, минимален – когда поле находится под стерней, скошенным, но не убраным льном, грубой зябью (вспашка поперек склона глубиной 25-30 см), после уборки картофеля (эффект мелких понижений). Рассмотрим данное положение на примере двух участков пашни Лучановского ключевого участка по ряду лет (табл. 5).

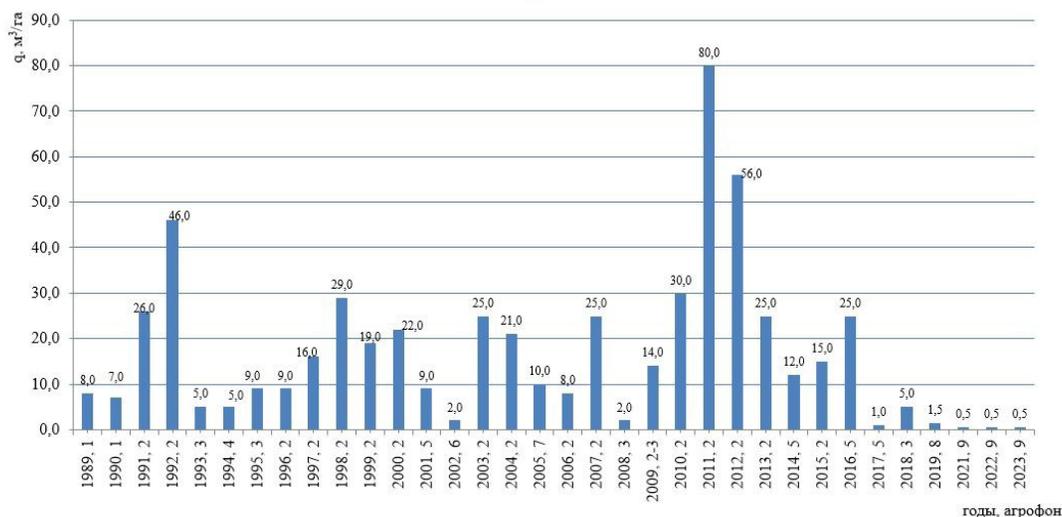


Рис. 6. Максимальные значения интенсивности смыва почв талыми водами на распаханном склоне южной экспозиции участка «Лучаново»

(1 – вспашка поперек склона, 2 – зябь, 3 – стерня, 4 – скошенный лен, 5 – сложный агрофон, 6 – клевер, 7 – вспашка вдоль склона, 8 – контурное боронование, 9 – грубая зябь)

Figure 6 Maximum values of intensity of soil erosion by melt water on the plowed slope of the southern exposure of the Luchanovo site

(1 – plowing across the slope, 2 – fallow land, 3 – stubble, 4 – mown flax, 5 – complex agricultural background, 6 – clover, 7 – plowing along the slope, 8 – contour harrowing, 9 – rough fallow land)

Таблица 5 – Примеры влияния агрофона и экспозиции на интенсивность смыва почв со склонов пашни на примере ряда лет

Table 5 – Examples of the influence of the agricultural background and exposure on the intensity of soil loss from the slopes of arable land using the example of a number of years

Год	Южные склоны, состояние агрофона	Смыв, м³/га	Северный склон, состояние агрофона	Смыв, м³/га
1989	Зябь боронованная	5-10	Зябь боронованная	16-17
1992	Зябь боронованная	24-30	Густые всходы клевера, рядки поперек склона	1-3
2003	Зябь боронованная	8-16	Скошенный и неубранный лен	1-3
	Скошенный и неубранный лен	1-2		
2008	Стерня, грубая зябь	1-2	Грубая зябь	1-3
2010	По стерне	0,5-1	Зябь	9-10
	По зяби	13-15		
2012	На задернованном склоне	0,5-1	Зябь боронованная поперек склона	3-5
	По стерне	2-5		
	По зяби	10-20		
2015	Зябь контурно боронованная	8-9	Чередование стерни и зяби	5-6
	Сочетание зяби и стерни	6-7		
2022	Зябь, стерня, всходы озимых	0,5-3	Всходы озимых	До 10
2023	Стерня злаковых	0,5-1		
2023	Грубая зябь поперек склона	2-3	Грубая зябь поперек склона по стерне	3-4
2023	Зябь боронованная у лесополос	35-40	Зябь боронованная	30-32

Данные 1992 и 2003 годов ярко отражают совокупное влияние агрофона и экспозиции. Несмотря на величину водозапаса в снежном покрове на южном склоне (110 мм), меньшую чем на северном склоне (около 150 мм), величина смыва более чем в 10 раз больше, чем на северном. Это невозможно отнести только на разницу в интенсивности снеготаяния, обусловленную экспозицией. Кроме того, сравнение смыва на склонах северной и южной экспозиции по ряду лет позволяет определить, что влияние экспозиции может быть существенным образом нивелировано. В то же время, сравнивая случаи одинакового агрофона (2012 год и последняя строчка таблицы) можно это влияние выделить. На фоне одинакового водозапаса в 2012 году в снежном покрове, смыв почвы при бороновании поперек склона оказывается сниженным и близким к смыву по стерне. Этот вывод интересен с практической точки зрения. Таким образом, анализ таблицы 5 показывает, что величина смыва почв во многом зависит от состояния агрофона. Наиболее интенсивно процесс развивается по боронованной вдоль склона зяби.

Но сочетание агрофона и экспозиции не является единственно возможным при анализе всей картины развития водной эрозии при снеготаянии, поскольку большое влияние на процесс смыва оказывает микрорельеф пашни. Натурные наблюдения показывают, что в один и тот же год интенсивность смыва почв даже на одном и том же поле, но с разным микрорельефом и агрофоном существенно различается. Рассмотрим это на примере одного из склонов южной экспозиции, где в центральной ее части расположена ложбина с водосбором площадью 5 га, а в районе лесополосы на окраине пашни имеется промоина с площадью водосбора около 3 га, где потоки от таяния поздневесенних сугробов у лесополосы в течение 3–5 дней производят значительную эрозионную работу (см. рис. 5). В таблице 6 приведены примеры по ряду лет, иллюстрирующие вышесказанное.

Данные полустационарных наблюдений за различные периоды указывают на то, что за 1989-2004 годы смыв с этого склона южной экспозиции в среднем составил 6-7 м³/га. При этом в бассейне ложбины за период с 1989 по 2012 смыв составил 5-6 м³/га, а в бассейне промоины – 10-11 м³/га. В последние годы агрофон этого поля чаще всего представлен стерней или травами, поэтому смыв почв невелик – от 0,5 до 2 м³/га. Сравнивая смыв в бассейне ложбины и промоины в годы с одинаковым агрофоном можно заметить существенную разницу в пользу промоины, что связано, по-видимому, с большей концентрацией потока в промоине и, следовательно, большим выносом твердого материала по руслу промоины.

Таблица 6 – Примеры интенсивности смыва почв в микробассейнах ложбины и промоины на южном склоне пашни

Table 6 – Examples of the intensity of soil loss in microbasins of hollows and gullies on the southern slope of arable land

Год	Состояние агрофона в бассейне ложбины	Смыв, м ³ /га	Состояние агрофона в бассейне промоины у лесополосы	Смыв, м ³ /га
1989	Зябрь, вспашка поперек склона	4-5	Зябрь, вспашка поперек склона	7-8
1991	Зябрь	10-11	Зябрь	24-26
1998	Стерня	2-3	Стерня	28-29
2000	Зябрь	20-22	Стерня, зябрь	8-9
2004	Всходы клевера	3-4	Редкие всходы трав	20-21
2007	Зябрь	9-10	Зябрь	24-25
2009	Стерня, зябрь, контурное боронование	2-3	Зябрь, боронование вдоль склона	13-14
2010	Всходы клевера	4-5	Зябрь с куртинами сорных трав	29-30
2012	Густой травяной покров с фрагментами зяби в низовьях	3-5	Зябрь с куртинами сорных трав	56-59
2015	Зябрь, стерня	1-3	Зябрь, стерня	14-15
2021	Всходы фацелии	0,5-1	Всходы фацелии	1,5-2

Смыв почв с пашни на склоне северной экспозиции, как правило, варьировал в течение 1988-2019, 2021-2023 гг. от 0,5 до 5 м³/га, но в годы длительного снеготаяния при резком повышении температуры воздуха он был более значительным. Например, в 1989 г. по боронованной зяби вдоль склона с поля площадью 18 га было смыто 16-17 м³/га почвы. В 2010 г. агрофон поля был представлен боронованной зябью, в результате на поле образовалось два водосборных микро-бассейна, а с поля было смыто от 10 до 15 м³/га почвы. У подножия склона образовались конусы выноса с общей площадью 1552 м², а средняя мощность делювия в них составляла около 7 см.

Насколько опасными являются процессы талой эрозии почв в пределах исследуемой территории? Однозначного ответа нет, поскольку до настоящего времени нет единой оценки опасности развития водной эрозии почв, а параметры ее проявления оцениваются исследователями по-разному.

На наш взгляд, более объективно оценивается опасность развития талой эрозии почв в Своде правил «Геофизика опасных природных воздействий...» [21], в котором показано, что весьма опасен этот процесс при смыве почв в 5-10 м³/га и умеренно опасен при 2-5 м³/га в год. Согласно полученным нами данным о среднегодовом смыве почв во время снеготаяния, изменяющемся от 4 до 17 м³/га, оценка интенсивности талой эрозии на исследуемой территории варьирует от слабой до сильной.

За 36 лет наблюдений значения среднего смыва почвы за период снеготаяния с полей по зяби из диапазона от 10 до 18 м³/га отмечались 18 раз, то есть в 51,4 % случаев. Но, как указывалось выше, смыв почв тальми водами по зяби на склонах круче 5° и у лесополос (вследствие бурного таяния сугробов) достигает 20-80 м³/га. Особенно интенсивно смыв почв у лесополос развивается на распаханных склонах южной экспозиции, например, в 2010 г. он достигал 50 м³/га, в 2012 – от 56 до 60 м³/га, в 2023 г. – до 40 м³/га, а максимальный наблюдался в 2011 г. – до 80-81 м³/га. В остальные годы смыв почв в зависимости от состояния агрофона в среднем изменялся от слабого до опасного (5-10 м³/га). Распределение смыва почв разной степени опасности по ключевым участкам бассейна р. Басандайки представлено в таблице 8.

Таблица 8 – Развитие процесса водной эрозии при снеготаянии различной опасности по данным много-летних наблюдений, %

Table 8 – Development of the process of water erosion during snowmelt of various hazards according to long-term observations, %

Ключевой участок, экспозиция склона, период наблюдений	Весьма опасный 10-15 м ³ /га	Опасный 5-10 м ³ /га	Умеренно опасный 2-5 м ³ /га	Слабо опасный менее 2 м ³ /га
Лесопитомник, южная, 11 лет	-	27,3	18,1	54,6
10-ый км, южная, 12 лет	41,7	33,3	25,0	-
Лучаново, южная (поле с оврагом), 33 года	24,2	27,3	18,2	30,3
Лучаново, южная (поле «кедрач-лесополоса»), 33 лет	33,3	20,0	16,7	30,0
Лучаново, северный склон (поле), 35 лет	2,9	26,5	29,4	41,1

Заключение

1. Проведенные исследования показывают, что развитие эрозии почв, вызываемой тальми снеговыми водами, характеризуются в пространстве и во времени неоднородностью проявления даже в пределах одного поля и зависят не только от запасов воды в снеге и интенсивности снеготаяния, но и в значительной степени от состояния агрофона, микрорельефа пашни и экс-

позиции склона. Наиболее активно смыв почв происходит на склонах пашни южной экспозиции в годы с интенсивным снеготаянием по боронованной зяби на склонах крутизной 5-7° и более в районе лесополос, достигая 40-80 м³/га. Средний смыв со склонов пашни по зяби варьирует от 5 до 18 м³/га, по стерне, травам, не убранному льну – 0,5-3 м³/га. При агрофоне, представленном с осени чередованием полос зяби, стерни, грубой зябью и т.д., смыв почв значительно уменьшается, что способствует сохранению плодородия почв.

2. При изучении водной эрозии почв, на наш взгляд, необходимо сочетать полевые методы и физико-статистические модели расчета смыва.

3. Наиболее надежным способом, несомненно, оказывается многолетнее полевое наблюдение за процессами почвенной эрозии. Такие исследования не могут быть организованы на всей площади бассейна даже малой реки, поэтому остаются актуальными эпизодические наблюдения за эрозией за пределами полустационара на участках с различными свойствами подстилающей поверхности. Величины, полученные на этих участках, могут быть сопоставлены с величинами смыва заданной вероятности превышения, установленными на участках полустационара. В частности, результаты, представленные в данной работе, позволяют отметить ряд проявлений влияния агрофона на величину смыва почвы. Причем это влияние наблюдается в сочетании с влиянием на смыв почвы микрорельефа и экспозиции. Например, величины смыва по боронованной зяби в отдельные годы составляют 16-17 м³/га на северном склоне повышаясь до 24-60 м³/га на южном. Это величина смыва с вероятностью превышения, соответственно, 5 % и 1 %. То есть повторяемость такой интенсивности смыва 5 раз в 100 лет и 1 раз в 100 лет соответственно. Напротив, грубая зябь или стерня снижают величину смыва до 1-3 м³/га, вероятность превышения (обеспеченность) которой составляет 95 %. Замечено также, что при одинаковом агрофоне бассейн промоины отличается существенным (кратно) увеличением смыва по сравнению с бассейном ложбины, что связано, скорее всего, не столько с различием в крутизне склонов, сколько влиянием таяния сугробов у лесополос и опушки леса.

Литература

1. Правительство Российской Федерации. Распоряжение № 3684 от 31 декабря 2020 года. Программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы) – Москва, 2020. – 144 с. – Текст : непосредственный.
2. Почвенный покров и земельные ресурсы РФ. – Москва : Почвенный институт имени В.В. Докучаева, РАСХН, 2001. – 400 с. – Текст : непосредственный.
3. Шульц, П. Эрозия – актуальная проблема деградации почв / П. Шульц, М. Ягла. – Текст: электронный // ГлавАгроном: [сайт] – 2020. URL: <https://glavagronom.ru/articles/eroziya--aktualnaya-problema-degradacii-pochv> (дата обращения: 12.04.2023).
4. Кузнецов, М. С. Эрозия и охрана почв : учебник для вузов / М. С. Кузнецов, Г. П. Глазунов. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 387 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-11173-6. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/541248> (дата обращения: 13.05.2024).
5. Доклад «Об экологической ситуации в Томской области в 2021 году / редколлегия: М. А. Кривов, Ю. В. Лунева; составители: Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГБУ «Облкомприрода». – Томск ОГБУ «Облкомприрода», 2022. – 124 с. – Текст : непосредственный.
6. Агроэкологические основы землепользования в Томской области / В. А. Хмелев, В. К. Каличкин, В. Г. Азаренко, Н. Н. Шипилин. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 255 с. – Текст : непосредственный.
7. Литвин, Л. Ф. География динамики земледельческой эрозии почв Сибири и Дальнего Востока / Л. Ф. Литвин, З. П. Кирюхина, С. Ф. Краснов, Н. Г. Добровольская, А. В. Горобец. – Текст непосредственный // Почвоведение. – 2021. – № 1. – С. 136–148.

8. Методы изучения и расчета водного баланса / В. С. Вуглинский, Г. С. Клейн, И. Н. Образцов [и др.]. – Ленинград : Гидрометеоздат, 1981. – 397 с. – Текст : непосредственный.
9. Свод правил СП 529.1325800.2023. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – Москва : Минстрой России, 2023. – 103 с. – Текст : непосредственный.
10. Евсеева, Н. С. Делювиальный процесс в агроландшафтах юга Томской области и его эколого-геоморфологические аспекты / Н. С. Евсеева, Г. Е. Пашнева, З. Н. Квасникова. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2013. – № 4 (24). – С. 7–19.
11. Евсеева, Н. С. Смыв почвы тальми снеговыми водами на склонах (по материалам стационарных наблюдений в Томской области) / Н. С. Евсеева, З. Н. Квасникова, М. А. Каширо, А. С. Батманова, В. В. Алеев. – Текст : непосредственный // Геоморфология. – 2016. – № 1. – С. 45–54.
12. Евсеева, Н. С. Влияние рельефа и растительности на распределение снежного покрова в бассейнах малых рек / Н. С. Евсеева, А. И. Петров, М. А. Каширо, З. Н. Квасникова, А. С. Батманова, А. В. Хон. – Текст : непосредственный // Геосферные исследования. – 2017. – № 4. – С. 64–74.
13. Экологический мониторинг: Доклад о состоянии окружающей среды Томской области в 2011 году / авторы: главный редактор А. М. Адам, редколлегия: В. А. Коняшкин, А. В. Дмитриев, Ю. В. Лунева; Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГБУ «Облкомприрода». – Томск: Издательство «Графика ДТР», 2012. – 166 с. – Текст : непосредственный.
14. Барашкова, Н. К. Экстремальный режим погоды летом 2012 г. на территории Томской области как отражение современных глобальных климатических тенденций / Н. К. Барашкова, И. В. Кужевская, Д. В. Поляков. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного университета. – 2013. – № 372. – С. 173–179.
15. Евсеева, Н. С. Из истории изучения мерзлоты юго-востока Западной Сибири, ее типы и влияние на рельефообразование / Н. С. Евсеева, З. Н. Квасникова, М. А. Каширо. – Текст : непосредственный // Геосферные исследования. – 2018. – № 3. – С. 71–87.
16. Дюкарев, А. Г. Температурный режим глубокоподзолённых почв Томь-Яйского междуречья / А. Г. Дюкарев, Н. Н. Пологова, Е. А. Дюкарев // Современные проблемы генезиса, географии и картографии почв (сборник материалов V Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Б. Ф. Петрова), Томск, Издательство ТГУ. – 2011. – С. 35–38. – Текст : непосредственный.
17. Кисилев, М. В. Особенности температурного режима почв верхового болотного массива / М. В. Кисилев, Н. Н. Воропай, Е. А. Дюкарев. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Физика. – 2016. – Т. 59. – № 7/2. – С. 93–98.
18. Опасные природные и техногенные процессы на территории г. Томска и их влияние на устойчивость природно-технических систем / В. Е. Ольховатенко, М. Г. Рутман, В. М. Лазарев – Томск: Печатная мануфактура, 2005. – 152 с. – Текст : непосредственный.
19. Бураков, Д. А. Эрозия почв: учебное пособие / Д. А. Бураков, Е. Э. Маркова. – Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2009. – 160 с. – Текст : непосредственный.
20. Догановский, А. М. Сборник задач по определению основных характеристик водных объектов суши: учебное пособие / А. М. Догановский, В. Г. Орлов. – Санкт-Петербург : РГТМУ, 2011. – 315 с. – Текст : непосредственный.
21. Свод правил СП 115.13330.2016. Геофизика опасных природных воздействий. Актуализированная редакция СНиП 22-01-95. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 36 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Russian Federation Government. Resolution No. 3684, 31 December 2020. Fundamental Scientific Research Program in the Russian Federation for the Long-term Period (2021–2030). Moscow: 2020:144). (In Russia)
2. Soil Cover and Land Resources of the Russian Federation. Moscow: Soil Institute named after V.V. Dokuchaev, Russian Academy of Agricultural Sciences, 2001:400. (In Russia)

3. Schultz P, Yagla M. Erosion – an Urgent Problem of Soil Degradation. Text: electronic. GlavAgronom: [website]; 2020. Available from: <https://glavagronom.ru/articles/eroziya--aktualnaya-problema-degradacii-pochv>. [cited 2023 Apr 12]. (In Russia)
4. Kuznetsov MS, Glazunov GP. Soil Erosion and Protection: Textbook for Higher Educational Institutions. 3rd ed., rev. and added. Moscow: Yurait Publishing; 2024:387. Available from: <https://urait.ru/bcode/541248>. [cited 2024 May 13]. (In Russia)
5. Report on the Environmental Situation in Tomsk Region in 2021. Editorial board: Krivov MA, Luneva YV; Compiled by: Department of Natural Resources and Environmental Protection of Tomsk Region, OGBU «Oblkompriroda». Tomsk: OGBU «Oblkompriroda»; 2022:124 (In Russia)
6. Agroecological Foundations of Land Use in Tomsk Region. Khmelev VA, Kalichkin VK, Azarenko VG, Shipilin NN. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2001:255 (In Russia)
7. Litvin LF, Kirukhina ZP, Krasnov SF, Dobrovolskaya NG, Gorobets AV. Geography of Agricultural Soil Erosion in Siberia and the Russian Far East. Soil Science. 2021;1:136–48. (In Russia)
8. Vuglinsky VS, Klein GS, Obraztsov IN, Plitkin GA, Sokolov AA, Fedorov NN. Methods for Studying and Calculating Water Balance. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1981:397. (In Russia)
9. SNiP 529.1325800.2023. Determination of Basic Hydrological Characteristics. Moscow: Ministry of Construction of the Russian Federation; 2023:103. (In Russia)
10. Evseeva NS, Pashneva GE, Kvasnikova ZN. Deluvial Process in Agro-landscapes of Southern Tomsk Region and its Ecological-Geomorphological Aspects. Bulletin of Tomsk State University. Biology. 2013;4(24):7–19. (In Russia)
11. Evseeva NS, Kvasnikova ZN, Kashiro MA, Batmanova AS, Aleev VV. Soil Washoff by Melting Snowmelt Water on Slopes (based on Stationary Observations in Tomsk Region). Geomorphology. 2016;1:45–54. (In Russia)
12. Evseeva NS, Petrov AI, Kashiro MA, Kvasnikova ZN, Batmanova AS, Khon AV. Influence of Relief and Vegetation on Snow Cover Distribution in Small River Basins. Geospheric Research. 2017;4:64–74. (In Russia)
13. Environmental Monitoring: Report on the State of the Environment in Tomsk Region in 2011. Editor-in-chief: Adam AM, Editorial Board: Konyashkin VA, Dmitriev AV, Luneva YV; Department of Natural Resources and Environmental Protection of Tomsk Region, OGBU «Oblkompriroda». Tomsk: Grafika DTP Publishing; 2012:166 (In Russia)
14. Barashkova NK, Kuzhevskaya IV, Polyakov DV. Extreme Weather Patterns in Summer 2012 in Tomsk Region as a Reflection of Current Global Climate Trends. Bulletin of Tomsk State University. 2013;372:173–9. (In Russia)
15. Evseeva NS, Kvasnikova ZN, Kashiro MA. History of Permafrost Studies in Southeastern Western Siberia, its Types, and Influence on Relief Formation. Geospheric Research. 2018;3:71–87. (In Russia)
16. Dyukarev AG, Pologova NN, Dyukarev EA. Thermal Regime of Deeply Podzolized Soils of the Tom'-Yay Interfluve. In: Proceedings of the V All-Russian Conference with International Participation Dedicated to the 100th Anniversary of the Birth of B.F. Petrov. Tomsk: TGU Publishing; 2011:35–8. (In Russia)
17. Kisilev MV, Voropay NN, Dyukarev EA. Thermal Regime of Soils in the Raised Bog Area. Journal of Physics of Higher Education Institutions. 2016;59(7/2):93–8. (In Russia)
18. Olkhovatenko VE, Rutman MG, Lazarev VM. Dangerous Natural and Technogenic Processes in Tomsk City and Their Impact on the Stability of Natural-Technological Systems. Tomsk: Print Manufacture; 2005:152 (In Russia)
19. Burakov DA, Markova EE. Soil Erosion: A Textbook. Krasnoyarsk State Agrarian University. Krasnoyarsk; 2009:160. (In Russia)
20. Doganovsky AM, Orlov VG. Collection of Problems on Determining the Basic Characteristics of Water Bodies on Land: A Textbook. St. Petersburg: RGGMU; 2011:315 (In Russia)
21. SNiP 115.13330.2016. Geophysics of Dangerous Natural Impacts. Updated Edition of SNiP 22-01-95. Moscow: Standartinform; 2018:36. (In Russia)

Сведения об авторах

ЕВСЕЕВА Нина Степановна – д.г.н., проф. каф. географии, Национальный исследовательский Томский государственный университет. E-mail: nsevseeva@yandex.ru

EVSEEVA Nina S. – Doctor of Sciences (Geography), Professor, Department of Geography, National Research Tomsk State University

ПЕТРОВ Анатолий Иванович – ст. преп. каф. гидрологии, Национальный исследовательский Томского государственного университета

PETROV Anatoly I. – Senior Lecturer, Department of Hydrology Faculty, National Research Tomsk State University

ХОН Алексей Валерьевич – к.г.н., м.н.с., Институт мониторинга климатических и экологических систем СОРАН. E-mail: avkhon@yandex.ru

KHON Aleksey V. – Candidate of Science (Geography), Junior Researcher, Institute for Monitoring of Climate and Ecological Systems SB RAS

КАШИРО Маргарита Александровна – к.г.н., доцент каф. географии, Национальный исследовательский Томский государственный университет. E-mail: mkashiro@yandex.ru

KASHIRO Margarita A. – Candidate of Science (Geography), Associate Professor, Department of Geography, National Research Tomsk State University

КВАСНИКОВА Зоя Николаевна – к.г.н., доцент каф. географии, Национальный исследовательский Томский государственный университет. E-mail: zojkwas@rambler.ru

KVASNIKOVA Zoia N. – Candidate of Science (Geography), Associate Professor of the Department of Geography, National Research Tomsk State University