

УДК 911.2:551.4

**ОПАСНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
В АГРОЛАНДШАФТАХ ЮГО-ВОСТОКА
ПОДТАЙГИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ**

Евсеева Н.С., Квасникова З.Н., Каширо М.А.

*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Томск,
e-mail: zojkwas@rambler.ru*

В работе приводятся итоги многолетних исследований за эрозионными процессами на территории юго-востока Западно-Сибирской равнины, в агроландшафтах Томской области. Установлено, что ежегодно на пашнях в пределах исследуемой территории развивается водная эрозия почв (при снеготаянии и ливневая) и ветровая. В зависимости от микро рельефа, экспозиции склонов, агрофона пашни смыв почв неравномерен и изменяется от 0,5 м³/га до 80 м³/га. Таким образом развивается плоскостной смыв почв от умеренно опасного (2–5 м³/га) до весьма опасного (10–15 м³/га). Установлено, что в течение зим 1989–2022 гг. во время устойчивого залегания снежного покрова, в среднем длящегося 180 дней, в толще и на поверхности снежной толщи на пашне накапливалась значительная масса эолового осадка. Эоловая миграция вещества из очагов дефляции на пашне изменялась от слабой (менее 0,5 т/га) до очень сильной (5–10 т/га). Развитие эрозии почв ведет к снижению их плодородия, на склонах в 3 и более градусов происходит уменьшение мощности гумусового горизонта (местами до 15–20 см), происходят изменения естественного процесса самовосстановления почвенных ресурсов, снижается экологическая устойчивость природных экосистем и др. В роли фактора, уменьшающего интенсивность проявления опасных экзогенных процессов, выступает растительный покров, представленный различными сельскохозяйственными культурами. Наибольший эффект при этом достигается в случае, когда агрофон с осени представлен стерней злаковых либо всходами клевера с рядками, расположенными поперек склона.

Ключевые слова: Западная Сибирь, Томская область, экзогенные процессы, эрозия

**DANGEROUS MANIFESTATIONS OF EXOGENOUS PROCESSES
IN THE AGRICULTURAL LANDSCAPES OF THE SOUTH-EAST
OF THE SUBTAIGA OF THE WEST SIBERIAN PLAIN**

Evseeva N.S., Kvasnikova Z.N., Kashiro M.A.

National Research Tomsk State University, Tomsk, e-mail: zojkwas@rambler.ru

The paper presents the results of long-term studies of erosion processes in the south-east of the West Siberian Plain, in the agricultural landscapes of the Tomsk oblast. It has been established that water erosion (related to snowmelt and heavy rainfall) and wind erosion of soils develops annually on arable land within the study area. Soil flushing is uneven and varies from 0.5 m³/ha to 80 m³/ha, depending on the microrelief, exposure of slopes, arable land agrophone. As a result, a planar soil washout develops on the slopes from a moderately dangerous level (2-5 m³/ha) to a very dangerous (10-15 m³/ha). It was found that during the winters of 1989-2022, with a stable occurrence of snow cover, which lasts 180 days on average, a significant mass of aeolian sediment accumulated in the thickness and on the surface of the snow on arable land. The aeolian migration of matter from points of deflation on arable land varied from low (less than 0.5 t/ha) to very strong (5-10 t/ha). The development of soil erosion leads to a decrease the fertility, on slopes with a steepness of 3 or more degrees there is a decrease in the thickness of the humus horizon (in places up to 15-20 cm), there are changes in the natural process of self-healing of soil resources, the ecological stability of natural ecosystems decreases, etc. Vegetation cover, represented by various agricultural crops, acts as a factor reducing the intensity of dangerous exogenous processes. The greatest effect is achieved in the case when the autumn agrophone is represented by lines located across the slope, consisting of stubble of cereal plants or clover seedlings.

Keywords: Western Siberia, Tomsk region, exogenous processes, erosion

Работами многих исследователей установлено, что антропогенное влияние на природные геосистемы приводит к изменению условий их функционирования и зависит от видов и интенсивности воздействия: влияние мелиорации, вырубок леса, распашки земель, создание прудов, водохранилищ и др. Одним из древнейших видов преобразования геосистем является агрогенный морфолитогенез: на сельскохозяйственных землях – агроландшафтах проявляется комплекс природно-антропогенных процессов – эрозия почв (водная и ветровая), переотложение рыхлых наносов, овражно-балочная

эрозия, суффозия, оплывины, засоление. Анализ данных государственного мониторинга земель и других систем наблюдений последних лет за состоянием окружающей среды Российской Федерации показывает, что водной эрозии подвержено 17,8%, ветровой – 8,4% сельхозугодий, переувлажненные и заболоченные земли занимают 12,3%, засоленные и солонцеватые – 20,1% [1].

Названные негативные процессы развиты и в агроландшафтах подтайги Западно-Сибирской равнины, в том числе и на территории Томской области, где площадь пашни составляет 646,3 тыс. га [2]. В агропроизвод-

ство вовлечены в основном серые лесные оподзоленные почвы и их подтипы (около 74% площади пашни). Результаты обследований почв в конце XX века показали, что общее содержание гумуса в пахотном слое почв пашни Томской области уменьшилось на 4–12%, а ежегодные потери гумуса составляют 0,15–1,5 т/га [3]. Это в немалой степени обусловлено проявлением водно-эрозионных процессов, которым подвержено около 350 тыс. га пахотных земель. Долговременных наблюдений за водной и ветровой эрозией почв на исследуемой территории до 90-х годов XX века не проводилось. С 1989 г. изучением названных процессов в агроландшафтах юго-востока Томской области начали заниматься сотрудники Томского государственного университета.

Цель исследования – оценка интенсивности развития водной и ветровой эрозии почв в агроландшафтах Томской области по данным многолетних полевых наблюдений.

Материалы и методы исследования

Основой для данной работы послужили маршрутные обследования и полушта-

ционные наблюдения в агроландшафтах южных районов Томской области в течение 1988–2022 годов (рис. 1). В результате полевых наблюдений установлено, что в пределах исследуемой территории в агроландшафтах развивается водная эрозия почв (при снеготаянии и ливневая) и ветровая. К настоящему времени дана характеристика факторов развития процессов эрозии: изучены процессы залегания снежного покрова, определены запасы воды в снеге и интенсивность снеготаяния; проведены полевые и расчетные методы величины смыва почв со склонов пашни; рассмотрены характеристики ветрового режима исследуемой территории и оценена податливость почв к ветровым нагрузкам, определены масса эолового материала, отлагающегося в толще снега и в пылеуловителях, а также химический и гранулометрический составы отложений и др. [4-6]. Об интенсивности развития эрозии почв при снеготаянии имеются сведения в работах ряда авторов [7; 8]. Интенсивность ветровой и водной (ливневой) эрозии почв в Томской области изучена недостаточно, и литературных данных нет.

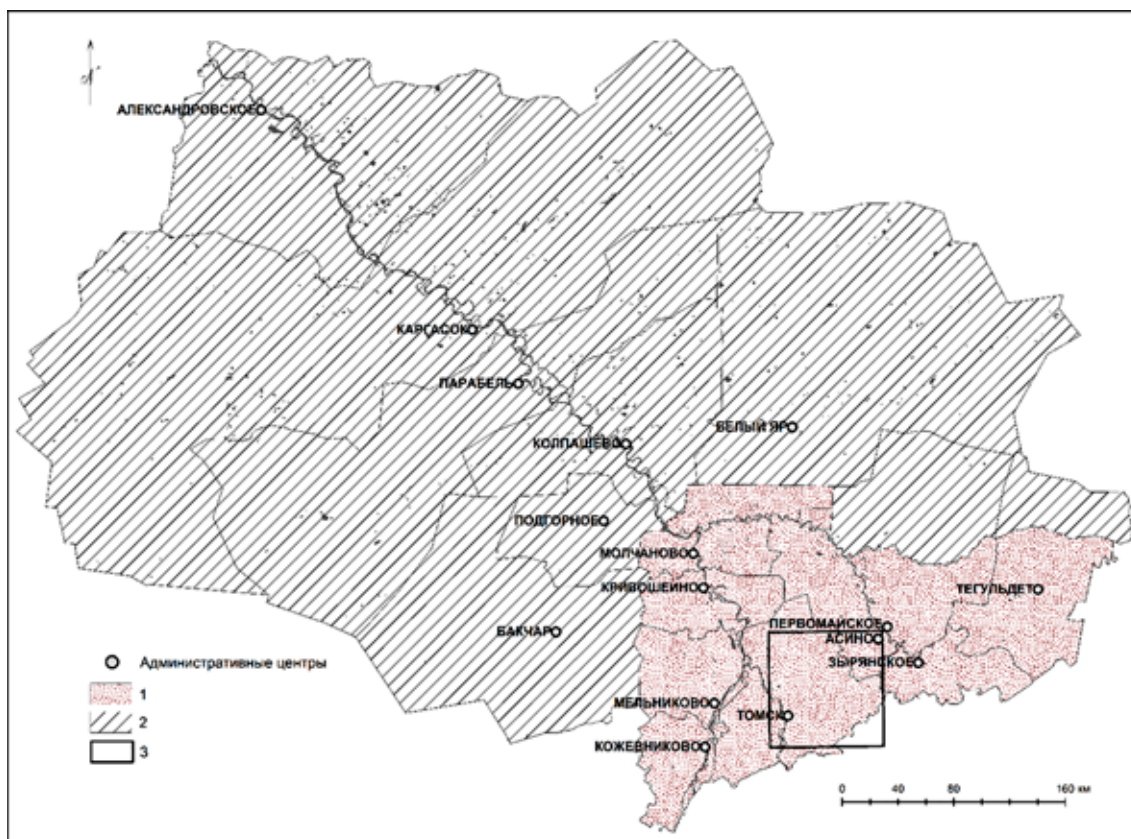


Рис. 1. Карта-схема проявления почвенно-эрозионных процессов на территории Томской области (по [9]): 1 – III подзона среднего смыва и среднего размыва, слабой дефляции; 2 – V подзона слабого смыва и слабого размыва; 3 – исследуемый район

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Подведены итоги наших 35-летних исследований по определению скорости развития водной и ветровой эрозии почв в агроландшафтах и выявлены годы с опасными темпами проявления названных процессов. Рассмотрим основные результаты наших исследований.

1. Водная эрозия почв при снеготаянии. В пределах исследуемой территории она развивается ежегодно (рис. 2), но с разной степенью интенсивности, что обусловлено рядом причин: запасом воды в снеге, глубиной оттаивания почв, длиной и крутизной, экспозицией склонов, а также состоянием агрофона.

Наиболее интенсивно смыв почв проявляется по боронованной зяби, но в зависимости от микрорельефа склонов пашни он неравномерен даже в пределах одного склона и изменяется от 0,5–5 до 50–80 м³/га, т.е. в такие годы, согласно [10], развивается плоскостной смыв почв от умеренно опасного (2–5 м³/га) до весьма опасного (10–15 м³/га). Полевые наблюдения показали, что смыв почв по микробассейнам склонов пашни по ряду лет значительно превышал названные величины, например он составил 20–30 м³/га в 1991, 2000, 2003, 2004, 2006, 2007, 2009, 2016 годах, а временами (1992, 2010–2012, 2021 гг.) достигал на участках склонов пашни в 3–7° до 45–80 м³/га. В годы с интенсивным развитием процесса у подножия склонов пашни образовывались обширные конусы выноса, толщина делювия в них достигала 10–15 см (рис. 2). По стерне, всходам озимых, многолетних трав, скошенному и неубранному льну смыв почв, как правило, не превышал 0,5–5 м³/га.



Рис. 2. Промоина и делювий конуса выноса после снеготаяния на пашне юго-востока Томской области (фото М.А. Каширо, 01.05.2021 г.)

Необходимо отметить, что смыв почв зависит от состояния агрофона, что убедительно показывает пример двух соседних полей на склонах южной экспозиции, но с разным агрофоном в один и тот же год (табл. 1).

В зависимости от интенсивности развития плоскостного смыва во время снеготаяния содержание гумуса в отложениях делювия конусов выноса у подножия склонов изменялось от 0,3–1,1% до 3,3–5,8%, местами достигало 6,1–8,3%. В гранулометрическом составе делювия преобладали пыль (31,0–60,6%) и мелкий песок (15,4–60,0%).

2. Ливневая эрозия почв. Эрозионные последствия ливней, сток ливневых вод, наносящих большой ущерб почвам, изучаются как в нашей стране, так и за рубежом.

Таблица 1

Интенсивность развития эрозии почв при снеготаянии на склонах южной экспозиции

Год наблюдений	Состояние агрофона поля № 1	Смыв почв, м ³ /га	Состояние агрофона поля № 2	Смыв почв, м ³ /га
1992	Зябрь боронованная	25–30	Зябрь боронованная	24–25 до 55
1995	Стерня	1–2	Зябрь боронованная	17–18
2000	Стерня	0,5	Стерня	0,5
2002	Зябрь	18–19	Сочетание зяби и стерни	9–10
2010	Выходы клевера	13–14	Вспашка после уборки льна	14–15
2018	Стерня	0,5–1,0	Чередование полос зяби и стерни	4–5
2022	Грубая зябрь по фацелии	0,5–1,0	Всходы озимых	1–2

Единого определения ливня в настоящее время нет, согласно приказу Росгидрометцентра РФ 52.88.699-2008, за сильный ливень принимаются дожди с количеством осадков 30 мм за период не более часа, а за очень сильный – дожди с количеством осадков не менее 50 мм за период времени не более 12 часов. В данной работе нами за ливень принимались осадки слоем 10 мм и более за сутки. Кроме того, выделены крупные (20–30 мм/сут.) и выдающиеся (более 30 мм/сут.) ливни. Крупные ливни на исследуемой территории случаются ежегодно, например, по данным ГМС «Томск» за 1960–2017 гг., количество ливней со слоем осадков 20–30 мм и более 50 мм в сутки составило 47 случаев, а со слоем 50 мм и более – 5 [5].

Наиболее сильный смыв и размыв почвы со склонов пашни вызывают ливни со слоем осадков 50 мм и более, даже если агрофон представлен растительностью. Например, 30 июня 1987 г. за 5,5 часов выпало 53,7 мм осадков, а первого июля – 20,6 мм. В результате со склона пашни длиной 300–500 м и крутизной 3–8°, занятого посадками картофеля, было смыто до 40–100 м³/га почвы; на склоне длиной 50–100 м под парами – до 24–26 м³/га. Большой урон пашне нанесли ливни начала июля 2020 г.: 3 июля за два часа выпало 51 мм осадков, а 7 июля – 21 мм. Обследование нами пашни 8 июля 2020 г. показало, что на южном склоне пашни с густыми посевами льна высотой до 60–70 см образовалась серия размывов, наиболее крупный из них достигал в длину 171 м при ширине до 2,7 м и глубине – до 40 см (рис. 3). Размывы у подножия склонов образовали делювиальный шлейф (рис. 4). Толщина делювия достигала 10–15 см. Смыв с поля изменялся от 1–5 до 9–10 м³/га. На соседнем поле, занятом посевами злаковых культур в стадии кущения (рядки располагались поперек склона), смыв составил 2–3 м³/га, толщина делювия в конусах выноса достигала 4–7 см. Отбор проб делювия из разных конусов выноса показал, что содержание гумуса в них изменялось от 2,9 до 5,6%, азота валового – от 0,35 до 0,52%, фосфора валового – от 0,24 до 0,33%. В гранулометрическом составе делювия преобладала пыль (32,1–67,9%) и песок (12,3–42,1%).

Весьма опасны в отношении эрозии почв короткие, но интенсивные ливни. Показателен в этом плане ливень 3 июня 2015 г., когда за одну минуту выпало 3,7 мм осадков, в результате с пашни с разным агрофоном было смыто от 0,75 до 2 м³/га почвы.



Рис. 3. Крупный размыв на пашне после ливня (фото З.Н. Квасниковой, 08.07.2020)



Рис. 4. Делювиальный шлейф у подножия склона пашни после ливня (фото З.Н. Квасниковой, 08.07.2020)

Исследования тенденций климатических характеристик температурно-влажностного режима исследуемого региона показывают, что годовое количество атмосферных осадков за последние 50 лет имеет тенденцию повсеместного роста на величину от 2 мм / 10 лет до 20 мм / 10 лет в разных районах Западной Сибири. Учитывая тот факт, что увеличилась в основном доля ливневых осадков, появляется вероятность затопления территорий, образование новых оврагов, оползней, провалов грунта. Увеличение доли ливневых осадков, вероятно, вызовет и усиление процессов ливневой

эрозии в агроландшафтах. Об этом предупреждают и другие исследователи [11].

3. Ветровая эрозия. Анализ ветрового режима ветра за 2006–2021 гг., по данным Авиационной метеорологической станции гражданской (АМСГ) «Томск», расположенной среди сельскохозяйственных угодий, показал, что практически в каждый месяц года наблюдаются ветры со скоростью 20–27 м/с. Ветровая эрозия почв развивается в агроландшафтах также круглый год, но наиболее интенсивно она приводит к миграции вещества на пашне в холодный период года (октябрь – февраль) и весной. Интенсивность развития ветровой эрозии почв определялась нами по массе аккумуляции золовых частиц в толще снега за время устойчивого залегания снежного покрова (СП), а весной во время снеготаяния – по массе накопления золовых осадков на поверхности СП за разные отрезки времени между снегопадами. В теплый период года использовался метод пылеуловителей по Reheis M.S. (2003) [12].

Установлено, что в течение зим 1989–2022 гг. во время устойчивого залегания снежного покрова, в среднем длящегося 180 дней, в толще снега на пашне накапливалась значительная масса золового осадка. Согласно классификации Е.М. Любцовой (1997) [13], золовая миграция вещества из очагов дефляции на пашне изменялась от слабой (менее 0,5 т/га) до очень сильной (5–10 т/га). Сильная миграция вещества (2–5 т/га) наблюдалась нами в ходе ландшафтно-геоморфологических снегосъемок зимой 2000–2001, 2003–2004, 2004–2005, 2008–2009, 2014–2015 гг.; очень сильная (5–10 т/га) – зимой 2002–2003 и 2011–2012 гг. Интенсивное развитие зимней дефляции почв при примерно однородном режиме ветров наблюдалось в случае, когда агрофон с осени был представлен зябью. Содержание гумуса в золовых отложениях в толще снега изменялось от 1,4 до 4,2%, присутствуют и другие биогены – Ca^{2+} , Mg^{2+} , P, N. В гранулометрическом составе осадков доминирует пыль – от 47,1 до 98,2%, а также мелкий песок (0,25 до 0,05 мм) – до 25%. Ветровая эрозия активно развивается и весной во время снеготаяния (обычно вторая половина марта – апрель). В это время происходит усиление скоростей ветра – буревая деятельность (ветры со скоростью ≥ 15 м/с) [13]. Но сугробы в агроландшафтах сохраняются длительное время, в ряде лет до первой декады мая. Во время снеготаяния случаются снегопады. В результате

имеется возможность наблюдать и определять массу золового осадка, отложившегося на поверхности СП за разные промежутки времени. Установлено, что во время снеготаяния с поверхности зяби за короткие отрезки времени сносится значительная масса золового материала и отлагается на поверхности сугробов в виде золовой ряби. Например, за 7 дней весны 1989 г. – до 0,42 т/га; за 25 дней 1991 – до 3,4 т/га; за 13 дней 2015 г. – до 3,2 т/га и т.д.; т.е. развивается сильная миграция вещества (2–5 т/га). Особенностью развития ветровой эрозии является неравномерность отложения пылевых частиц на поверхности снега: отмечается чередование сильно-, средне- и слабозагрязненных волн. Содержание гумуса в золовом осадке на поверхности СП вследствие этого варьировало от 1,5 до 5,1%. В гранулометрическом составе золового наноса также доминирует пыль – до 64,9% и мелкий песок – до 22%. В минералогическом составе осадка доминирует SiO_2 – 61,97% и Al_2O_3 – 10,99%, Fe_2O_3 – 5,73%, кроме того, присутствуют CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , S и др. Суммируя массу золового материала, накопившегося за время устойчивого залегания снежного покрова и за отрезки времени при снеготаянии, возможно приблизительно оценить интенсивность развития ветровой эрозии в годы, когда агрофон с осени представлен зябью, стерней, травами (табл. 2).

При достаточно однородном режиме ветра за 1989–2021 гг. активное развитие ветровой эрозии приходится на годы, когда агрофон с осени представлен зябью и происходит сильная и очень сильная миграция вещества – до 5–10 т/га. Наблюдения за аккумуляцией пылеаэрозолей в пылеуловителях в течение 2013–2022 гг., установленных на высоте 2 метра над поверхностью земли, показывает, что характерна неоднородность осаждения пыли в разных урочищах агроландшафта. Меньше всего золового наноса оседает в пылеуловителях на наветренном склоне пашни (0,7–4,1 г/м²), в сосновой лесополосе – от 2,1 до 179,5 г/м² (2017 г.); в березовых лесополосах – от 35,5 г/м² до 270 г/м² (2018 г.), на кромке кедрового леса – 79,35 г/м².

В целом интенсивность миграции золового материала на высоте 2 м над поверхностью земли изменяется от слабой (менее 0,5 т/га) до средней (1–2 т/га), достигая в отдельные годы 2–5 т/га (сильная). Содержание гумуса в отложениях пылеуловителей значительно – от 4,6 до 5,2%, а в отдельных точках достигает 10,5%.

Таблица 2

Примеры интенсивности развития ветровой эрозии почв в годы с разным агрофоном, т/га

Год наблюдения	Состояние агрофона	Интенсивность ветровой эрозии, т/га	Год наблюдения	Состояние агрофона	Интенсивность ветровой эрозии, т/га
1989-1990	Зябь боронованная	5,0-6,0	2009-2010	Всходы многолетних трав	0,5
1992-1993	Всходы многолетних трав	0,2	2014-2015	Зябь боронованная	6-7
2000-2001	Зябь боронованная	до 4-4,5	2017-2018	Стерня злаковых	до 0,5
2002-2003	Зябь боронованная	до 10-11	2020-2021	Травы	0,5-0,7
2004-2005	Зябь боронованная	до 3-3,5	2021-2022	Всходы злаковых	до 2,5

Это объясняется тем, что эоловые отложения холодного периода года имеют тесную генетическую связь с почвами исследуемого бассейна. Они содержат гумус – от 1,7 до 4,3%, сумма $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ в них изменяется от 13,6 до 26,0 мг/экв. на 100 г, N – от 0,08 до 0,62%, P – от 0,18 до 0,56%. Сравнительный анализ содержания питательных для растений веществ показал, что они соответствуют таковым в эоловом наносе и составляют соответственно 2,8–3,8%; 23,2–27,7%; 0,18–0,27%; 0,36%. Почвы плакоров содержат значительное количество гумуса – 5–6% и более [6].

Заключение

В пределах исследуемого региона в агроландшафтах ежегодно развиваются негативные экзогенные процессы – водная и ветровая эрозия почв. В роли фактора, уменьшающего интенсивность проявления названных процессов, выступает растительный покров, представленный различными сельскохозяйственными культурами. Наибольший эффект при этом достигается в случае, когда агрофон с осени представлен стерней злаковых либо всходами клевера с рядками, расположенными поперек склона. Развитие эрозии почв ведет к снижению их плодородия, на склонах в 3 и более градусов происходит уменьшение мощности гумусового горизонта (местами до 15–20 см), происходят изменения естественного процесса самовосстановления почвенных ресурсов, снижается экологическая устойчивость природных экосистем и др. В условиях меняющегося климата отмечается увеличение годового количества осадков, в основном ливневых, что предполагает вероятность усиления ливневой эрозии в агроландшафтах в будущем.

Список литературы

1. Антропогенная геоморфология / Отв. ред. Э.А. Лихачева, В.П. Палиенко, И.И. Спасская. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. 416 с.
2. Доклад «Об экологической ситуации в Томской области в 2021 году». Томск, 2022. 124 с.
3. Хмелев В.А., Каличкин В.К., Азаренко В.Г., Шипилин Н.Н. Агроэкологические основы землепользования в Томской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 255 с.
4. Евсева Н.С., Пашнева Г.Е., Квасникова З.Н. Делювиальный процесс в агроландшафтах юга Томской области и его эколого-геоморфологические аспекты // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2013. № 4 (24). С. 7-19.
5. Евсева Н.С., Квасникова З.Н., Кужевская И.В. Ливни как природный риск и их экологические аспекты (на примере южной части Томской области) // Геосферные исследования. 2020. № 4. С. 73-84. DOI: 10.17223/25421379/21/6.
6. Евсева Н.С., Язиков Е.Г., Квасникова З.Н., Батманова А.С., Бучельников В.С. Современный эоловый морфолитогенез: изученность, региональные проявления // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 11. С. 96-107. DOI: 10.18799/24131830/2020/11/2889.
7. Носырева О.В., Соян Д.А. Снежный покров как фактор развития эрозии почв на юге Томской области // Современные проблемы географии и геологии: к 100-летию открытия естественного отделения в Томском государственном университете: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. В 2-х томах. (г. Томск, 16-19 октября 2017 г.), Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2017. Т. 1. С. 311-315.
8. Савельева Д. А., Каличкин В. К. Внутрисезонный мониторинг водной эрозии почв пашни в подтайге Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 5. С. 15-21. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10502.
9. Мусохранов В.Е. Использование эродированных земель в Западной Сибири. М.: Россельхозиздат, 1983. 191 с.
10. Физика опасных природных воздействий. Актуализированная редакция СЕИП 22-01-95. М.: Стандартинформ, 2018. 30 с.
11. Горбатенко В.П. Тенденции климатических характеристик, определяющих развитие транспортной системы Западной Сибири // Динамика и взаимодействие геосфер Земли. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 100-летию подготовки в Томском государственном университете специалистов в области наук о Земле. В 3-х томах. (г. Томск, 8-12 ноября 2021 г.), Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2021. Т. 2. С. 113-116.
12. Reheis M.S. Dust deposition in Nevada, California, and Utah, 1984-2002. U.S. Geological Survey, Open-File Report 03-138, 2003. 11 p.
13. Любцова Е.М. Эоловые процессы // Пространственно-временной анализ динамики эрозионных процессов на юге Восточной Сибири. Новосибирск, 1997. С. 132-177.