



УДК 911.2+551.4(571.16)
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.45.55>

Ветровая эрозия почв в агроландшафтах на юго-востоке Томской области

Н. С. Евсеева, З. Н. Квасникова, А. С. Гальченко*

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Аннотация. Приведены результаты оценки интенсивности аккумуляции эолового наноса в результате выдувания почвы на юго-востоке Томской области. Проанализирована характеристика режима ветра за 2006–2021 гг. На основе использования природного планшета-накопителя пылеаэрозолей – снежного покрова и пылеуловителей – выявлена интенсивность аккумуляции эолового осадка в толще снега за время его устойчивого залегания и на поверхности снега во время весеннего таяния на юго-востоке Томской области. За период с 1989 по 2023 г. установлено, что по зяби (особенно в малоснежные годы) в толще снега на пашне накапливается до 1000 г/м² эолового осадка, а по стерне, всходам озимых, многолетних трав – до 50 г/м². Выявлено, что минералогический состав, среднее содержание химических элементов в снежной толще и пылеуловителях аналогичны литогенному субстрату почв пашни сельскохозяйственных угодий исследуемой территории.

Ключевые слова: Томская область, агроландшафты, ветровая эрозия, эоловые накопления.

Для цитирования: Евсеева Н. С., Квасникова З. Н., Гальченко А. С. Ветровая эрозия почв в агроландшафтах на юго-востоке Томской области // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2023. Т. 45. С. 55–67. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.45.55>

Original article

Wind Soil Erosion in Agricultural Landscapes on South-East of Tomsk Region

N. S. Evseeva, Z. N. Kvasnikova, A. S. Galchenko*

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

Abstract. Eolian processes associated with the destruction, transportation and deposition of sedimentary rock by wind develop in arid natural zones, as well as on agricultural lands. The general conditions for their development are completely absent or sparse vegetation cover, the presence of dispersed rocks and strong winds. Aeolian processes are most developed in deserts and semi-deserts, where many researchers have studied them. In the forest zone of the West Siberian Plain, these processes have been poorly studied. Researchers classify the taiga and subtaiga in the Ob and Irtysh basins either as non-deflationary or as a zone of accumulation of aeolian material. Deforestation, plowing of land, construction of various communications contribute to the development of eolian processes. Our long-term observations of eolian processes in the southeast of the subtaiga zone of the West Siberian Plain have shown that wind erosion is observed here and has focal development. The wind of the study area is characterized by gustiness, the wind speed in gusts reaches up to 20 m/s. Strong winds with a maximum speed of 25–27 m/s occur in all seasons of the year. Such winds are

the most dangerous in relation to the development of wind erosion of soils on flat farmlands without forest and shrub plantations. Based on the use of natural accumulator - snow cover and atmospheric dust traps, the intensity of accumulation of eolian sediment in the snow mass and on its surface was revealed. The studies were conducted during the spring thaw for the period from 1989 to 2023. The intensity of development of wind erosion also depends on the state of the agricultural background. It has been established that up to 1000 g/m² of eolian sediment accumulates in the plowing in the thickness of the snow on arable land, and up to 50 g/m² in the stubble, shoots of winter, perennial grasses. During the spring melting of snow, up to 300–360 g/m² of eolian sediment accumulates on its surface over fallow and up to 50 g/m² over stubble and grasses. In the cedar forest, bordering on agricultural landscapes, no more than 25 g/m² is accumulated during the specified period. The processes of blowing and accumulation of soils in agricultural landscapes are characterized by uneven development, but they contribute to the migration of matter. Dust particles are deposited in forest belts separating agricultural land. Due to this, the content of humus in the soils of forest belts is higher than on arable land and reaches up to 10 %.

Keywords: Tomsk region, agricultural landscapes, wind erosion, eolian accumulations.

For citation: Evseeva N.S., Kvasnikova Z.N., Galchenko A.S. Wind Soil Erosion in Agricultural Landscapes on South-East of Tomsk Region. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2023, vol. 45, pp. 55-67. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.45.55> (in Russian)

Введение

Одной из глобальных проблем земледельцев планеты является защита почв от эрозии, приводящей к уничтожению почвенного покрова. Под эрозией почв в настоящее время понимают совокупность взаимосвязанных процессов отрыва, переноса и отложения почвы (иногда материнской и подстилающей пород) стоком временных водотоков и ветром [Кузнецов, Глазунов, 2020; Романовская, Савин, 2020]. Вследствие этого различают водную и ветровую эрозию почв. Масштабы развития названных процессов весьма значительны. По данным ряда исследователей [El-Swaify, 1999; Мотузова, 2001], на водную эрозию приходится около 67 %, а на ветровую – примерно 33 % в пределах 1,5 млрд га обрабатываемых сельскохозяйственных земель.

Явление ветровой эрозии зарождается на границе твердой и газообразной сред – почвы и воздуха, развивается в прилегающем к Земле слое атмосферы, завершаясь на земной, водной или почвенной поверхности [Wind erosion and ... , 2019]. Ветровая эрозия наблюдается на всех обрабатываемых землях независимо от угла склона. Повреждения, вызываемые ветровой эрозией, наиболее проявляются на равнинных сельхозугодьях без лесных и кустарниковых насаждений.

Механизмы влияния ветровой эрозии на почву и ландшафт многообразны – это снижение плодородия эродированных почв, загрязнение почв сельхозугодий вредными веществами, снижение фотосинтеза в результате загрязнения листовой поверхности посевов пылью, потеря углерода почвой и др. [Wind erosion effects ... , 1998; Soil carbon 4 ... , 2017]. Кроме того, ветровая эрозия почвы – главная причина наполнения воздуха пылью, причем масштабы поступления почвенной пыли столь велики, что она начинает влиять на тепловой баланс планеты. Помимо этого, пыль может служить причиной возникновения эпидемий, так как содержит повышенное количество спорозоных аэробных бактерий; еще большую опасность несет радиоак-

тивная пыль и др. Как отмечалось выше, во многих странах ученые изучают различные аспекты развития ветровой эрозии [Ларионов, 1993; Lal, 2003; Morgan, 2005; Dust deposition near ... , 2007; Накопление органического углерода ... , 2015; Lancaster, 2009; Nickling, Neuman, 2009; Munroe, 2014; и др.].

На территории России дефляции подвержено около 26 % ее площади [Инженерная геология России, 2013], а в Западной Сибири не менее 25 % площади пашни [Устойчивое развитие сельского ... , 2005]. Согласно А. О. Романовской, И. Ю. Савину [2020], на территории России ветровая эрозия проявляется в основном в следующих границах: по северу – это неправильной формы линия от Воронежа в направлении на восток. Граница проходит через Самару – Челябинск – Петрозаводск – Омск – к Новосибирску, а далее в Восточную Сибирь, через Хакасию, Бурятию, Туву, Читинскую область. В зоне риска находится площадь более 45 млн га, в том числе 38,7 млн га – пашня. География этих явлений обозначена лишь в самом общем виде, а перенос химических веществ с полей, их влияние на плодородие почв зон оседания частиц, их экологическое состояние практически не изучены.

Процессы ветровой эрозии, как отмечалось выше, сложны и состоят из выдувания, переноса, измельчения и отложения почвенных частиц на поверхности Земли (почв, воды, растительности и др.). По внешним признакам, таким как интенсивность, продолжительность, масштабы явления, размер ущерба, исследователи различают повседневную ветровую эрозию и пыльные (черные) бури и выдувание почвы вместе со снегом, хотя различие это условное [Кузнецов, Глазунов, 2020].

Повседневной эрозии подвержены практически все пахотные почвы, в особенности при обработке. Для нее характерна относительно низкая скорость ветра, которая незначительно превышает критическую для почв, она проявляется в виде пыльных столбов и поземок. Массовое перемещение ветром мелкозема (ветропесчаный поток) происходит в приземном слое воздуха в 1–2 м, но основная масса материала переносится в слое воздуха на высоте 10–15 см [Кальянов, 1986]. Высота подъема пыли зависит от синоптических условий, скорости ветра, состояния агроландшафта и варьируется от десятков метров до 1,5–2,0 км и более [Грингоф, Клещенко, 2011].

Для местной ветровой эрозии характерна пространственная ограниченность: при этом виде эрозии частицы почвы не переносятся на большое расстояние, а чаще всего она ограничена масштабами одного или нескольких соседних полей, на территории которых развиваются все стадии процесса – от выдувания почвы до отложения наносов [Кузнецов, Глазунов, 2020].

К повседневной эрозии авторы данной работы относят и зимнее выдувание почв, оно выражается в сдувании с полей сильным ветром снега, как правило с наветренных склонов пашни, и верхних сухих слоев почвы, а иногда и в выдувании озимых посевов.

В течение 1989–2023 гг. проводились наблюдения за развитием местной ветровой эрозии в агроландшафтах юго-востока Томской области в течение теплого и холодного периодов года. Многолетние полевые исследования показали, что ветровая эрозия почв в пределах исследуемой территории разви-

вается круглый год, но до настоящего времени интенсивность, динамика проявления, скорости седиментации пыли, вещественный, химический состав эолового наноса изучены недостаточно, а результаты предыдущих исследований противоречивы. Так, согласно оценке пораженности территории юго-востока Западно-Сибирской равнины эрозией и дефляцией [Основы использования ... , 1989], южная часть территории Томской области не подвержена ветровой эрозии (рис. 1, а), хотя опасность ее развития изменяется от слабой до сильной (рис. 1, б), но конкретных данных об интенсивности развития процесса нет.

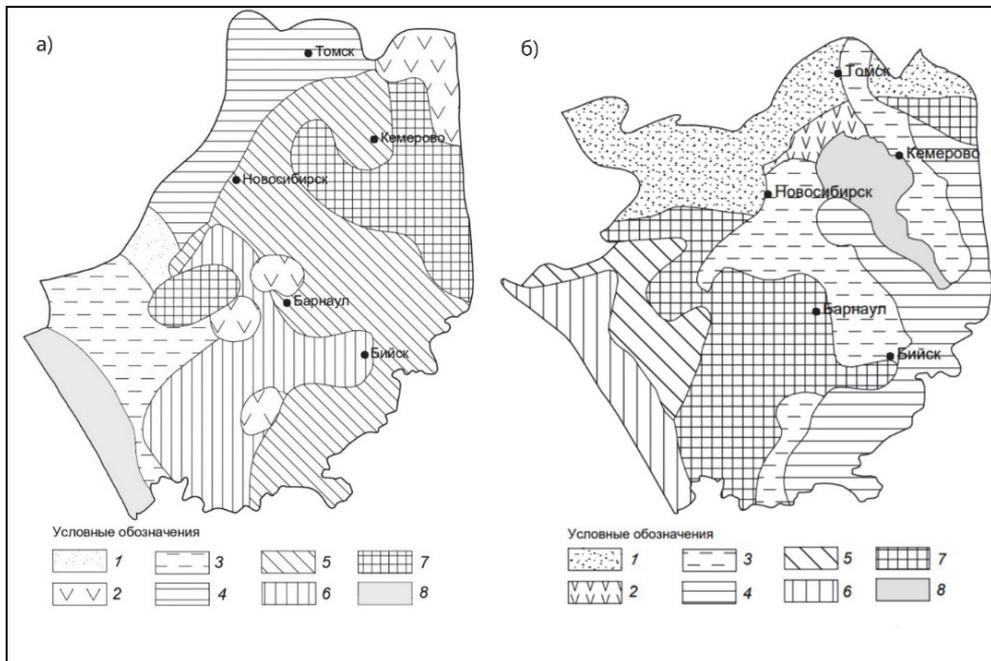


Рис. 1. Фрагменты карт территории юга Западно-Сибирской равнины:

а) пораженности эрозией и дефляцией: 1 – слабая пораженность дефляцией; 2 – слабая пораженность эрозией и дефляцией; 3 – слабая эрозия; средняя и сильная дефляция; 4 – слабая эрозия; 5 – средняя и сильная эрозия; 6 – средняя, реже сильная эрозия и слабая дефляция; 7 – средняя эрозия, средняя и сильная дефляция; 8 – очень сильная пораженность дефляцией; б) опасность проявления эрозии: 1 – слабая; 2 – средняя; 3 – сильная; 4 – очень сильная. Опасность проявления дефляции: 5 – сильная; 6 – очень сильная. Совместное проявление эрозии и дефляции: 7 – слабая эрозии и дефляции; 8 – среднее эрозии и дефляции по [Основы использования ... , 1989].

Цель данной работы – оценка интенсивности аккумуляции эолового наноса в результате зимнего выдувания почвы в период устойчивого залегания снежного покрова и во время снеготаяния, влияния агрофона и их геохимические аспекты.

Материалы и методы исследования

Объект исследования – агроландшафты центральной части Томь-Яйского междуречья на примере бассейна р. Басандайка, расположенного в зоне подтайги юго-востока Томской области. Рельеф исследуемой территории полого-увалистый равнинный с абсолютными высотами 100–270 м. Сельскохозяйственные угодья в основном приурочены к плакорам и верхним частям склонов междуречий. Микрорельеф пашен – чередование плоских, слабо бугристых участков и суффозионно-просадочных западин (от 2 до 5–10 шт. на 1 га), часто поросших березой и осиной с примесью сосны. Относительное превышение в пределах пашни изменяется от 0,2–0,5 м до 3–5 м, местами до 10–15 м. Почвенный покров бассейна р. Басандайка, как и всего Томь-Яйского междуречья, сформирован на лессовых породах, мощность которых достигает 10–12 м. В агропроизводство вовлечены в основном суглинистые разности серых лесных оподзоленных почв, имеющих высокое содержание агрегатов менее 1 мм – до 40–80 % [Стадийность развития эоловых ... , 2018].

Для мониторинга ветровой эрозии почв используются традиционные и новые методы – это полевые визуальные оценки, метод шпилек (эрозионных мостов), фотограмметрический, пылеуловителей, цезия-137, моделирования и другие. Для исследования аккумуляции эолового осадка (пылеаэрозолей) в толще снега и на его поверхности нами использованы два метода: 1 – природных планшетов-накопителей аэрозолей и 2 – метод пылеуловителей, разработанный М. Reheis [2003].

Природный планшет-накопитель аэрозолей – снежный покров – является идеальной депонирующей средой и широко используется в практике атмогеохимических исследований. В снеге фиксируются как частицы природного, так и техногенного происхождения, что позволяет получить действительную картину атмосферных выпадений в холодный сезон [Drake, Moote, 1980; Characterization of solid ... , 2018]. Отбор проб снега проводится во время снегосъемок в конце холодного периода (март-первая декада апреля) по опорным профилям, ориентированным с учетом элементов рельефа и их экспозиции по отношению к направлению ветропылевого переноса на пашне ключевых участков, а также в кедровом и смешанном лесу. В целом было отобрано 125 проб из толщи снега и 147 шт. с его поверхности. После обработки проб проводились исследования их гранулометрического, вещественного, химического составов (микроэлементов и макроэлементов), а также гумуса. Геохимический состав определялся с помощью аттестованной методики количественного атомного эмиссионного анализа (свидетельство № 08-47/200) в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» Томского государственного университета. Вещественный состав изучался методами оптической микроскопии, с помощью бинокулярного микроскопа Leica EZ4D, а также рентгенофазового анализа (РФА), на рентгеновском дифрактометре Bruker D2 Phaser, на базе учебно-научной лаборатории электронно-оптической диагностики МИНОЦ «Урановая геология» Томского политехнического университета.

Кроме того, был проведен анализ литературных источников о режиме ветра исследуемой территории и анализ данных с Авиационной метеорологической станции гражданской (АМСГ) Томск за период с 2006 по 2021 г., где замеры скорости ветра проводились через каждые 30 минут. Анализ показал, что в апреле и марте наибольшая максимальная скорость ветра наблюдалась в 2020, 2017, 2015, 2014 и 2011 гг. и достигала 25 м/с. В осенний период наиболее показательным является октябрь. За последние 16 лет в течение этого месяца наибольшие максимальные скорости ветра были зафиксированы в 2014 и 2018 гг.

Результаты исследования

Важное значение в развитии ветровой эрозии, в том числе и холодного периода года, принадлежит режиму ветра. Южная и юговосточная части Западно-Сибирской равнины относятся к району сильного ветра, максимальные скорости в год достигают 25–34 м/с [Природные опасности ... , 2000], кроме того, в 6–10 лет возможно образование смерча. Опасность сильных ветров связана с их разрушительной способностью, например, ветер со скоростью более 23 м/с может вызвать разрушение легких построек. В Росгидромете принято относить к опасным ветрам те, что имеют скорости более 15 м/с. Для оценки скорости (силы) ветра пользуются следующими критериями, значения которых несколько варьируют в зависимости от конкретных природных условий: слабый – ≤ 4 м/с; умеренный – 5–8 м/с; средний – 9–13 м/с; сильный – 14–20 м/с; очень сильный – 21–25 м/с; буря, ураган – ≥ 26 –30 м/с [Грингоф, Клещенко, 2011].

Анализ режима ветра по данным АМСГ Томск, расположенной вблизи агроландшафтов бассейна р. Басандайка за 2006–2021 гг. показал, что в пределах территории доминируют ветры южных направлений, как в течение года, так и в холодный его период (октябрь–апрель). Среднемесячные скорости ветра в холодный период года (ХПГ) по данным АМСГ Томск, с 1990 по 2000 гг. в январе составляли 4–5 м/с, в октябре до 6 м/с. В течение 2006–2021 гг. они были равны в основном 4 м/с, достигая в ноябре 5 м/с. Такие скорости ветра способны вызывать перемещение снега при отсутствии снегопада, поскольку рыхлый снег, состоящий из сухих кристаллов диаметром 1–2 мм, легко взматывается при небольших скоростях ветра – примерно 10 км/ч, т. е. около 2,8 м/с [Снег, 1986].

Ветер исследуемой территории характеризуется порывистостью, скорость ветра при порывах достигает до 20 и более м/с. Показатель режима бурных ветров в среднем за год изменяется в широких пределах, но наиболее сильно буревая деятельность проявляется в южной части Томской области и в пойме р. Оби. По данным наблюдений АМСГ Томск в течение 2006–2021 гг. бурные ветры имеют место во все сезоны года (рис. 2), максимальные достигают 25–27 м/с. Такие ветры наиболее опасны в отношении развития ветровой эрозии почв.

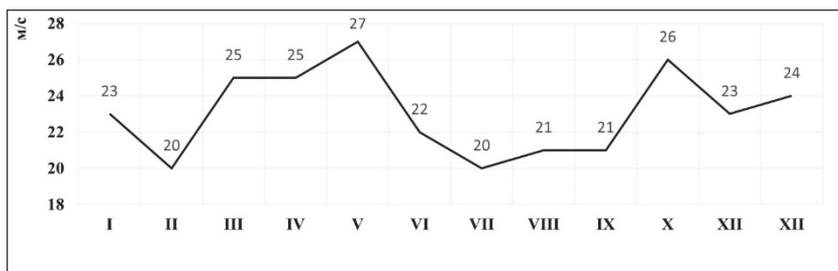


Рис. 2. График максимальных скоростей ветра по месяцам в период с 2006 по 2021 г.

Дефляция снега возрастает на наветренных склонах, ровных обширных участках, а отложение эоловых частиц на снегу из снеговетрового потока происходит на участках, где скорость ветра уменьшается – в районе лесополос, колков, вдоль границ леса, трасс дорог. На территориях, где способы землепользования и постоянное сезонное распределение ветров одинаковы, наибольшие снежные накопления из года в год образуются приблизительно на одних и тех же местах [Снег, 1986]. Данный вывод полностью согласуется с нашими многолетними наблюдениями в течение 1988–2022 гг. Сугробы снега толщиной до 1,5–2,2 м из года в год формируются у лесополос, кромок кедрового леса, депрессиях рельефа (рис. 3, а, б). На наветренных склонах и возвышенных участках пашни толщина снежного покрова значительно меньше. Именно эти участки пашни в течение зимних месяцев оказываются очагами дефляции пашни (рис. 3, в).

Отбор проб из толщи снега по опорным профилям показал, что за время залегания устойчивого снежного покрова в его толще накапливается от первых граммов эолового наноса до 878 г, местами более. Масса накопившегося эолового наноса по данным наших наблюдений в значительной степени зависит не только от скорости ветра, но и от состояния агроландшафта. В случае, если сельскохозяйственные угодья представлены стерней, всходами клевера, многолетних трав, озимых, скошенным, но не убраным льном, в толще снега накапливалось от 2–10 до 40–50 г/м² эолового осадка. В марте, апреле во время снеготаяния средние скорости ветра составляют в основном 4–5 м/с, а максимальные достигают 20–25 м/с. Такие ветры быстро иссушают обнажившиеся участки почвы, производя выдувание и перенос почвенных частиц. На поверхности снега образуется эоловая рябь разной степени загрязнения, а позднее на поверхности сохранившихся сугробов. Как и в предыдущем случае, значительна роль состояния агрофона.

Механизм развития зимней ветровой эрозии хорошо описан К. С. Кальяновым: «Темная поверхность пашни в результате морозного выветривания оказывается подготовленной к развитию эоловых процессов, так как верхний почвенный слой иссушается, становится рыхлым до глубины 5 см и более, почвенные агрегаты разрушаются до эрозионноопасных фракций. Процессы ветровой эрозии зимой разрушают почвенный покров и в отложениях снега появляются грязные прослойки... В среднем загрязнение снега варьирует от 1 до 15 кг/га» [Кальянов, 1986, с. 7].

Очаги дефляции за годы исследований наблюдались неоднократно, например, в 2002–2004, 2015, 2020, 2021, 2023 (см. рис. 3, в). Размеры очагов различны – от первых десятков м² до 3 га. Наличие в снежной толще загрязненных прослоек снега (до 5–7) свидетельствует о неоднократном сдувании снега с участков очагов дефляции (см. рис. 3, г).



Рис. 3. Аккумулятивные и дефляционные снежные формы рельефа: А – сугробы у лесополосы (фото А. С. Гальченко, 24.03.2022); Б – снежный бархан (фото М. А. Каширо, 14.03.2013); В – очаги дефляции; Г – прослой загрязненного снега в толще снега (фото А. С. Гальченко, 18.03.2023)

В конце марта и в апреле во время снеготаяния от снега освобождаются все большие участки пашни. Сильные ветры высушивают почвы, особенно по зяби, производят выдувание, сдувание почвы и переносят частицы почвы на разные расстояния, формируя на поверхности снега, позднее на остатках сугробов эоловую рябь (рис. 4). В результате имеется возможность оценки интенсивности аккумуляции эолового наноса в снежной толще за период устойчивого залегания снежного покрова, а также во время снеготаяния, так как сугробы снега, реже снежные барханы у лесополос и в депрессиях рельефа сохраняются до конца апреля, а в отдельные годы – до начала мая, например, в 2003, 2004, 2008, 2010, 2022 гг. По зяби, особенно в малоснежные годы, масса эолового осадка достигает 300–880 г/м².



Рис. 4. Эоловые отложения на поверхности снега в агроландшафтах бассейна р. Басандайки (фото А.С. Гальченко, 18.03.2023)

В годы, когда агрофон пашни представлен зябью за разные отрезки времени, между снегопадами на поверхности снега накапливается от 60–100 до 300–336 г/м² эолового наноса, например, с 01.04. по 16.04.1991 – до 335 г/м²; за 20.03–21.03.2004 – до 23 г/м²; с 14.04–25.04.2015 – от 3,9 до 320 г/м². Если агрофон с осени представлен стерней, травами, скошенным льном в снежной толще и на его поверхности осаждение пылеаэрозолей невелико – от 0,8 до 40–50 г/м².

В кедровом лесу, расположенном на границе с пашней, за все годы наблюдений накопление эоловых осадков было небольшим и изменялось от долей грамма до 24,6 г/м² (2010 г.). Гранулометрический состав эоловых отложений, накопившихся в толще снега и на его поверхности, различается (табл. 1).

Таблица 1

Гранулометрический состав эоловых отложений в толще снега и на эоловых волнах, мм

Объект	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	0,001	Гумус, %
Шурфы	0,2–1,5	0,5–17,8	6,8–48	6,5–54,8	3,8–24,5	9,1–25,4	1,5–4,3
Эоловые волны	0,4–9,2	11,1–23	23,1–52,7	0,3–17,0	4,2–18,2	9,1–30,4	1,7–5,1

В целом в гранулометрическом составе эоловых осадков преобладают пылеватые частицы, а содержание гумуса варьируется в значительных от 1,5 до 5,1 %, что объясняется расположением точек отбора проб от очагов дефляции: чем они ближе, тем выше содержание гумуса. В табл. 2 приведено содержание некоторых макроэлементов в пробах, отобранных весной 2022 г. в снежной толще, пылеуловителях и верхнем горизонте почв пашни бассейна р. Басандайки, юго-востока Томской области.

Таблица 2

Содержание некоторых макроэлементов в эоловых отложениях
и почве исследуемого района (апрель, 2022 г.), %

Объект	Кол-во проб	SiO ₂	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
1*	5 шт.	8,2–57,4	1,1–4,6	0,2–3,4	0,3–2,9	0,1–1,2
2	8 шт.	11,7–70,4	1,2–1,4	0,3–2,0	0,5–5,5	0,2–0,3
3	2 шт.	66,2–68,9	1,5–1,6	1,7–1,9	1,4–1,6	0,3–0,4

*Примечание: 1 – пылеуловители, 2 – снежная толща, 3 – почва.

Минералогический состав осадка (преимущественно кварц и полевоый шпат), среднее содержание микроэлементов с поверхности снега аналогичны литогенному субстрату почв пашни плакорных местоположений [Современный эоловый ... , 2020].

Выводы

Многолетние наблюдения за эоловыми процессами в агроландшафтах юго-востока зоны подтайги Западно-Сибирской равнины показали, что: ветровая эрозия здесь наблюдается и носит очаговое развитие; интенсивность развития ветровой эрозии в значительной степени зависит от состояния агрофона; процессы выдувания, сдувания и аккумуляции почв агроландшафтов отличаются неравномерностью развития, но способствуют миграции вещества; в лесополосах, вследствие их влияния на воздушные потоки, осаждаются частицы пыли. Благодаря этому содержание гумуса в почвах лесополос более высокое, чем на пашне, и доходит до 10 %.

Список литературы

- Грингоф И. Г., Клеценко А. Д. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Обнинск : ФГБУ «ВНИИГМИ – МЦД», 2011. Т. 1. 808 с.
- Инженерная геология России / под ред. В. Т. Трофимова, Э. В. Калинина. М. : КДЦ, 2013. Т. 2. 816 с.
- Кальянов К. С. Развитие эоловых процессов и ветровой эрозии почв на территории СССР // География процессов эрозии. 1986. С. 2–24.
- Кузнецов М. С., Глазунов Г. П. Эрозия и охрана почв. М. : Изд-во МГУ, 2020. 387 с.
- Ларионов Г. А. Эрозия и дефляция почв: основные закономерности количественная оценка. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1993. 200 с.
- Мотузова Г. В. Почвенно-химический экологический мониторинг. М. : Изд-во МГУ, 2001. 85 с.
- Накопление органического углерода в черноземах (моллисолях) под полезавитными лесными насаждениями в России и США / Ю. Г. Чендев [и др.] // Почвоведение. 2015. № 1. С. 49–60. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15010037>
- Основы использования и охраны почв Западной Сибири / С. С. Трофимов [и др.] Новосибирск : Наука, 1989. 226 с.
- Природные опасности России. Природные опасности и общество / под ред. В. А. Владимировой, Ю. Л. Воробьева, В. И. Осипова. М. : КРУК, 2000. Т. 1. 316 с.
- Романовская А. О., Савин И. Ю. Современные методы мониторинга ветровой эрозии почв // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2020. Вып. 104. С. 110–157. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-104-110-157>
- Снег. Справочник / под ред. Д. М. Грея, Д. Х. Мейла. Л. : Гидрометеиздат, 1986. 752 с.

Современный эоловый морфолитогенез: изученность, региональные проявления / Н. С. Евсеева [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331, № 11. С. 96–107. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/11/2889>

Стадийность развития эоловых процессов в агроландшафтах бассейнов малых рек Томской области в холодный период года / Н. С. Евсеева [и др.] // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2018. Т. 18, вып. 2. С. 80–87. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-1\(113-121\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-1(113-121))

Устойчивое развитие сельского хозяйства и сельских территорий: зарубежный опыт и проблемы России / отв. ред.: Н. Ф. Глазовский, А. В. Гордеев, Г. В. Сдасюк. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2005. 615 с.

Characterization of solid airborne particles deposited in snow in the vicinity of urban fossil fuel thermal power plant (Western Siberia) / A. V. Talovskaya [et al.] // Environmental Technology (United Kingdom). 2018. Vol. 39, Iss. 18. P. 2288–2303. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1354075>

Drake T. T. Moote T. R. Snow pH and dust loading at Schefferville Quebec // Canadian Geographer. 1980. Vol. 24, N 3. P. 286–291. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.1980.tb00343.x>

Dust deposition near an eroding source field / L. J. Hagen [et al.] // Earth Surface Processes and Landforms, 2007. Vol. 32. P. 281–289. <https://doi.org/10.1002/esp.1386>.

El-Swaify S. A. With an international group of contributors. Sustaining the Global farm – Strategic Issues, Principles, and Approaches. International Soil Conservation Organization (ISCO), and the Department of Agronomy and Soil Science. Honolulu, Hawaii, USA : Univ. of Hawaii at Manoa, 1999. 60 p.

Lal R. Soil erosion and the global carbon budget // Environment International. 2003. Vol. 29, N 4. P. 437–450. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00192-7](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00192-7)

Lancaster N. Aeolian features and processes // Geological Monitoring. Boulder, Colorado: Geological Society of America. 2009. P. 4–25. [https://doi.org/10.1130/2009.monitoring\(01\)](https://doi.org/10.1130/2009.monitoring(01))

Morgan R. P. C. Soil Erosion and Conservation. 3rd ed. Oxford : Blackwell Publishing, 2005. 304 p.

Munroe J. S. Properties of modern dust accumulating in the Uinta Mountains, Utah, USA, and implications for the regional dust system of the Rocky Mountains // Earth Surface Processes and Landforms. 2014. Vol. 39. P. 1979–1988. <https://doi.org/10.1002/esp.3608>

Nickling W. G., Neuman C. L. Mc. Aeolian Sediment Transport // Geomorphology of Desert Environments. 2009. P. 517–555. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5719-9_17

Reheis M. S. Dust deposition in Nevada, California, and Utah, 1984–2002. U.S. Geological Survey, Open-File Report 03–138, 2003. 11 p.

Soil carbon 4 per mille / B. Minasny [et al.] // Geoderma. 2017. Vol. 292. P. 59–86. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>

Wind erosion and dust from US drylands: a review of causes, consequences, and solutions in a changing world / M. C. Duniway [et al.] // Ecosphere. 2019. Vol. 10, N 3. e02650. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2650>

Wind erosion effects on nutrient redistribution and soil productivity / J. F. Larney [et al.] // Journal of Soil and Water Conservation. 1998. Vol. 53, N 2. P. 133–140.

References

Gringof I.G., Kleshchenko A.D. *Osnovy selskokhozyaistvennoi meteorologii* [Fundamentals of agricultural meteorology]. Obninsk, VNIIGMI-MTsD Publ., 2011, vol. 1, 808 p. (in Russian)

Inzhenernaya geologiya Rossii [Engineering Geology of Russia]. Eds. V.T. Trofimova, E.V. Kalinina. Moscow, KDTs Publ., 2013, vol. 2, 816 p. (in Russian)

Kalyanov K.S. Razvitie eolovykh protsessov i vetrovoi erozii pochv na territorii SSSR [The development of Eolian processes and wind erosion in the USSR]. *Geografiya protsessov erozii* [Geography of erosion processes], 1986, pp. 2–24. (in Russian)

Kuznetsov M.S., Glazunov G.P. *Eroziya i okhrana pochv* [Erosion and soil protection]. Moscow, MSU Publ., 2020, 387 p. (in Russian)

Larionov G.A. *Eroziya i deflyatsiya pochv: osnovnye zakonomernosti kolichestvennaya otsenka* [Soil erosion and deflation: basic quantitative assessment]. Moscow, MSU Publ., 1993, 200 p. (in Russian)

- Motuzova G.V. *Pochvenno-khimicheskii ekologicheskii monitoring* [Soil-chemical environmental monitoring]. Moscow, MGU Publ., 2001, 85 p. (in Russian)
- Chendeu Yu.G. et al. Nakoplenie organicheskogo ugleroda v chernozemakh (mollisolyakh) pod polezashchitnymi lesnymi nasazhdeniyami v Rossii i SShA [Accumulation of organic carbon in chernozems (mollisols) under protective forest plantations in Russia and the USA]. *Pochvovedenie* [Soil science], 2015, no. 1, pp. 49-60. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15010037> (in Russian)
- Trofimov S.S. et al. *Osnovy ispolzovaniya i okhrany pochv Zapadnoi Sibiri* [Fundamentals of the use and protection of soils in Western Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1989, 226 p. (in Russian)
- Prirodnye opasnosti Rossii. Prirodnye opasnosti i obshchestvo* [Natural hazards of Russia. Natural hazards and society]. Eds. V.A. Vladimirova, Yu.L. Vorobieva, V. I. Osipova. Moscow, KRUK Publ., 2000, vol. 1, 316 p. (in Russian)
- Romanovskaya A.O., Savin I.Yu. Sovremennyye metody monitoringa vetrovoi erozii pochv [Modern methods of monitoring wind erosion of soils]. *Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva* [Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute], 2020, vol. 104, pp. 110-157. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-104-110-157> (in Russian)
- Sneg. Spravochnik* [Snow. A reference book]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1986, 752 p. (in Russian)
- Evseeva N.S. et al. Sovremennyye eolovyye morfolitogenezy: izuchennost, regionalnye proyavleniya [Present-Day aeolian morpholithogenesis: State of knowledge and regional manifestations]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering], 2020, vol. 331, no. 11, pp. 96-107. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/11/2889> (in Russian)
- Evseeva N.S. et al. Stadiinost razvitiya eolovykh protsessov v agrolandshaftakh basseinov mal'nykh rek Tomskoi oblasti v kholodnyi period goda [Stages of Development of eolian processes in agrolandscapes of small river basins of Tomsk Oblast in cold period of year]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Nauki o Zemle*. [Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences], 2018, vol. 18, no. 2, pp. 80-87. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-1\(113-121\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-1(113-121)) (in Russian)
- Ustoichivoe razvitiye selskogo khozyaistva i selskikh territorii: zarubezhnyi opyt i problemy Rossii* [Sustainable development of agriculture and rural areas: foreign experience and problems of Russia]. Eds. by N.F. Glazovskii, A.V. Gordeev, G.V. Sdasyuk. Moscow, KMK Publ., 2005, 615 p. (in Russian)
- Talovskaya A.V. et al. Characterization of solid airborne particles deposited in snow in the vicinity of urban fossil fuel thermal power plant (Western Siberia). *Environmental Technology (United Kingdom)*, 2018, vol. 39, iss. 18, pp. 2288-2303. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1354075>
- Drake T.T., Moote T.R. Snow pH and dust loading at Schefferville Quebec. *Canadian Geographer*, 1980, vol. 24, no. 3, pp. 286-291. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.1980.tb00343.x>
- Hagen L.J. et al. Dust deposition near an eroding source field. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2007, vol. 32, pp. 281-289. <https://doi.org/10.1002/esp.1386>.
- El-Swaify S.A. *With an international group of contributors. Sustaining the Global farm – Strategic Issues, Principles, and Approaches. International Soil Conservation Organization (ISCO), and the Department of Agronomy and Soil Science*. Honolulu, Hawaii, USA, Univ. of Hawaii at Manoa, 1999, 60 p.
- Lal R. Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International*, 2003, vol. 29, no. 4, pp. 437-450. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00192-7](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00192-7)
- Lancaster N. Aeolian features and processes. *Geological Monitoring*. Boulder, Colorado, Geological Society of America, 2009, pp. 4-25. [https://doi.org/10.1130/2009.monitoring\(01\)](https://doi.org/10.1130/2009.monitoring(01))
- Morgan R.P.C. *Soil Erosion and Conservation*. 3rd ed. Oxford, Blackwell Publishing, 2005, 304 p.
- Munroe J.S. Properties of modern dust accumulating in the Uinta Mountains, Utah, USA, and implications for the regional dust system of the Rocky Mountains. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2014, vol. 39, pp. 1979-1988. <https://doi.org/10.1002/esp.3608>
- Nickling W.G., Neuman C.L.Mc. Aeolian Sediment Transport. *Geomorphology of Desert Environments*, 2009, pp. 517-555. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5719-9_17
- Reheis M.S. *Dust deposition in Nevada, California, and Utah, 1984–2002*. U.S. Geological Survey, Open-File Report 03–138, 2003, 11 p.

Minasny B. et al. Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 2017, vol. 292, pp. 59-86. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>

Duniway M.C. et al. Wind erosion and dust from US drylands: a review of causes, consequences, and solutions in a changing world. *Ecosphere*, 2019, vol. 10(3). e02650. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2650>

Larney J.F. et al. Wind erosion effects on nutrient redistribution and soil productivity. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1998, vol. 53(2), pp. 133-140.

Сведения об авторах

Евсеева Нина Степановна

доктор географических наук,
профессор, профессор кафедры географии
Национальный исследовательский
Томский государственный университет
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
e-mail: nsevseeva@yandex.ru

Квасникова Зоя Николаевна

кандидат географических наук,
доцент, доцент кафедры географии
Национальный исследовательский
Томский государственный университет
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
e-mail: zojkwas@rambler.ru

Гальченко Анастасия Сергеевна

магистрант, кафедра географии
Национальный исследовательский
Томский государственный университет
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
e-mail: gas_kas@mail.ru

Information about the authors

Evseeva Nina Stepanovna

Doctor of Sciences (Geography),
Professor, Professor of the Department
of Geography
National Research Tomsk State University
36, Lenin ave., Tomsk, 634050,
Russian Federation
e-mail: nsevseeva@yandex.ru

Kvasnikova Zoya Nikolaevna

Candidate of Science (Geography),
Associate Professor of the Department of
Geography
National Research Tomsk State University
36, Lenin ave., Tomsk, 634050,
Russian Federation
e-mail: zojkwas@rambler.ru

Galchenko Anastasia Sergeevna

Undegraduate, Department of Geography
National Research Tomsk State University
36, Lenin ave., Tomsk, 634050, Russian
Federation
e-mail: gas_kas@mail.ru