

УДК 911.2+551.435.06

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ФОРМИРУЮЩИЕ СОВРЕМЕННЫЙ ЭОЛОВЫЙ РЕЛЬЕФ НАДЫМСКОГО ПРИОБЬЯ

Маликова Е. Л.

*Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Российская
Федерация
E-mail: malikovael@igm.nsc.ru*

В данном исследовании рассматривается территория песчаного раздува, находящаяся в долине р. Надым. Были оценены факторы формирования современного эолового рельефа территории, для этого выполнено: геотермическое картографирование, построена роза ветров, и рассчитан показатель фактор климата (С). Оценка дефляционного потенциала через фактор климата показала, что в настоящее время дефляция снизилась до минимальных значений за всё время наблюдений. При этом среднегодовая температура повысилась на 4⁰С, а вот среднегодовая сумма осадков мало изменилась. Активность ветров имеет ярко выраженную сезонность и наибольшая дефляция характерна для тёплого сезона года. **Ключевые слова:** эоловый рельеф, Надымское Приобье, климат, глобальное потепление, ветер, климатические факторы.

ВВЕДЕНИЕ

Ветер является основным фактором, формирующий эоловый рельеф. Ветровой режим крупнейших пустынь мира отражает характер и расположение песчаных дюн [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Песчаные пустыни можно разделить на два основных типа: жаркие субтропические и холодные пустыни средних широт. К первым относятся Сахара, Тар, пустыни Австралии, Перу и юго-запада Северной Америки. Климат этих пустынь от мягкого до теплого, зимой и от жаркого до очень жаркого, летом. Пустыни средних широт находятся в основном в Центральной Азии, здесь холодно зимой, а летом тепло или жарко [7].

До конца XIX века большинство ученых считали ветровой перенос наносов менее важным, чем перенос водой или ледниками. В начале XX века наблюдался несколько больший интерес к эоловым процессам и отложениям ими сформированным. Однако большая часть ранних работ носила описательный характер, и только в середине 1930-х годов были достигнуты серьезные успехи в понимании механики эолового переноса и образования дюн [7].

Для образования песчаных дюн в любой географической области должны присутствовать три основных фактора, впервые выявленные Дж. Хэком (Hack) [8]. Первый из этих факторов — это источник песка, который придает дюнам черты, присущие им и изменяет их.

Вторым фактором, необходимым для образования дюн, является ветровой режим территории, способный переносить частицы в пространстве. Классификация ветровых режимов в пределах заданного района возможна путем изучения графического изображения моделей. Они показывают количество песка, которое способен перемещать ветер, направления, в которых материал будет транспортироваться, и как далеко может он может перемещаться [9].

Третьим фактором, необходимым для образования дюн, является отсутствие растительности на такой территории. Роль, которую растительность играет в формировании и, как следствие, активации и стабилизация дюн связана не только с присутствием растений на территории, но и с той ролью, которую они играют в удержании влаги. Растительность может подавлять движение песка, уменьшать скорость ветра над поверхностью [10, 11, 12]. Кроме того, растительность также увеличивает количество влаги, присутствующей в дюнах. Наличие влаги играет важную роль в формировании песчаных дюн, она увеличивает сцепление частиц песка [13, 10, 14].

А. А. Земцов [15] выделял четыре причины активизации эоловых процессов на севере Западной Сибири: 1 — вытаптывание оленями; 2 — пожары; 3 — слабая закрепленность песчаного материала; 4 — антропогенный фактор (хозяйственное освоение территории). И кроме антропогенного фактора, остальные причины не вызывают значительной активизации песков [15].

Проблема опустынивания в настоящее время стоит очень остро. На активизацию эоловых процессов на севере Западной Сибири достаточно сильно повлияла хозяйственная деятельность человека: добыча песка, транспорт, трубопроводы, строительство дорог и т.д. [15, 16, 17, 18]. Однако, нельзя не учитывать и природные факторы. Поэтому в настоящей работе описываются природные факторы, влияющие на развитие эолового рельефа территории. Самым главным, из которых является ветер.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – песчаные дюны на севере Западной Сибири (Надымское Приобье). Эта территория находится в подзоне северной тайги Западно-Сибирской равнины, в 30 км от г. Надым, на песчаном массиве, который вытянут с севера на юг на 2 км, с запада на восток на 1 км, высотой до 12 м [16, 19].

Средняя скорость ветра в г. Надыме 3–4 м/с, скорости ветра 15 м/с бывают редко, максимальная – 30 м/с. Летом преобладают ветры северных румбов, зимой – южных. [20].

Интенсивность эоловых процессов напрямую зависит от эродирующей способности ветра, т.е. действия ветровых нагрузок на поверхность почвы [21]. Для оценки интенсивности эоловых процессов разработан ряд климатических показателей. Чтобы оценить факторы формирования современного эолового рельефа территории, было выполнено: геотермическое картографирование, построена роза ветров, и рассчитан климатический показатель **фактор климата (С)**. Данный параметр наиболее важный показатель для определения потенциальной опасности развития дефляционных процессов территории. Фактор климата рассчитан по формуле [22]:

$$C = \frac{10^2 v^3}{\left(\frac{H}{T} + 10\right)^2}, \quad (1)$$

где C — фактор климата; v — среднегодовая скорость ветра, м/с; H — годовое количество осадков; T — среднегодовая температура. Интенсивность дефляции через **фактор климата (C)** оценивается следующим образом [22]: 0,01–0,1 — развивается очень слабая дефляция; 0,1–0,5 — слабая дефляция; 0,5–1,0 — умеренная дефляция; 1,0–5,0 — сильная дефляция; более 5,0 — очень сильная дефляция. Для расчетов климатических параметров были использованы данные метеонаблюдений с метеостанции «аэропорт Надым» с 1955 по 2021 гг. [23, 18].

Чтобы проанализировать температурные показатели была сделана карта изотерм, которая была получена путем геотермического картографирования данных дистанционного зондирования Земли. На сайте Геологической службы США (USGS) [24] были скачаны снимки за третью декаду июля и января 2016–2018 годов, в основном начало 20-х чисел. Для геотермического картографирования использовался ПК ENVI 5, оформление карты было выполнено в ArcGIS Pro [25].

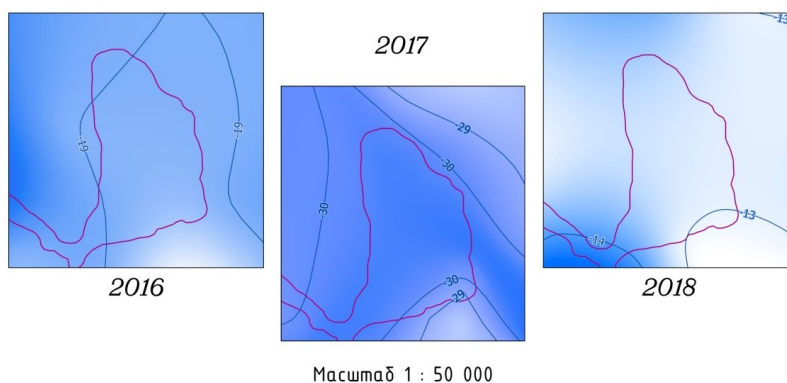
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для изучаемого дюнного раздува были построены изотермические карты для летних и зимних месяцев (рис. 1). Эти данные показывают, что зимой изолинии лишь издалека обходят дюну. Это может говорить о том, что зимой температура распределяется примерно равномерно по территории дюны и сопредельным территориям со сплошным растительным покровом. Что, видимо, обусловлено сплошным снежным покровом территории. Летом же ситуация сильно отличается. Можно выделить дюну как остров тепла, на карте видно, что тепло задерживается на территории дюны, что песок оказывает тепляющий эффект летом. Это может быть связано с его механическим составом, пористостью и другими свойствами [25].

Доступные данные о скорости и направлении ветра для исследуемой территории охватывают относительно короткий период, но этого достаточно для понимания режима ветра в регионе. Пространственное распространение дюн в пределах раздува хорошо согласуется с направлениями и силой преобладающих ветров. Крупные полукруглые дюны располагаются на юго-востоке. В западной и северо-западной частях песчаного массива находятся небольшие дюны, на развитие которых оказывают влияние южные ветра [25]. Эти данные указывают на то, что наиболее активное продвижение дюны происходит в летнее время, поэтому почти все эоловые формы сосредоточены в юго-восточной части раздува, куда песок перемещается под действием северных и северо-западных ветров. В 2015–2021 гг. средняя скорость ветров северного направления ~ 3 м/с; порывов ~ 11 м/с. Несмотря на то, что ветры южного румба близки по силе и интенсивности северным ветрам (средняя скорость ветров южного направления $\sim 2,8$ м/с; порывов ~ 11 м/с в 2015–2021 гг.), основная часть этих ветров приходится на холодное время года (рис. 2). По этой причине в зимнее время года дюны остаются практически не подвижными. Замёрзший и перекрытый снегом песок не подвержен развеванию, и поэтому в северных частях территории практически не наблюдаются аккумулятивные формы рельефа.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ФОРМИРУЮЩИЕ СОВРЕМЕННЫЙ ЭОЛОВЫЙ РЕЛЬЕФ НАДЫМСКОГО ПРИОБЬЯ

*Карты изотерм третьей декады января за 2016–2018 гг.
на территории дюны*



*Карты изотерм третьей декады июля за 2016–2018 гг.
на территории дюны*

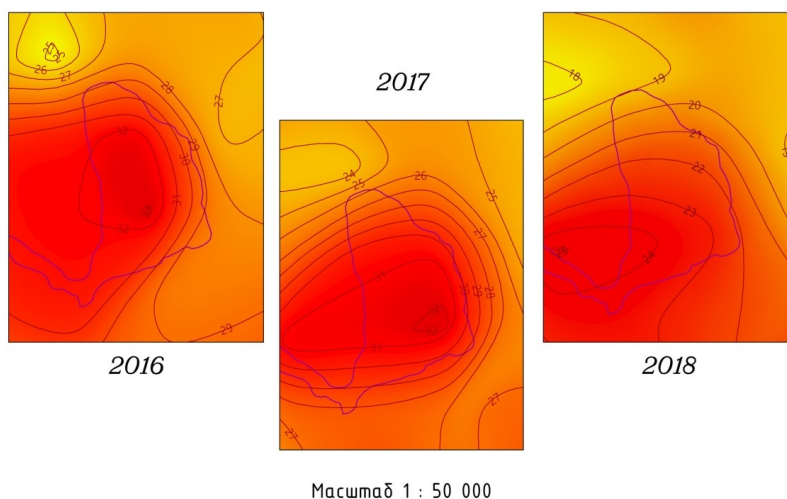


Рис.1. Изотермы изучаемого песчаного раздува [25].

Проведённое изотермическое картографирование (рис. 1) подтверждает наличие сплошного снегового покрова в пределах дюны в холодное время года. Снежный покров препятствует активному накоплению песка и формированию дюн. Тем не менее, исследования О. С. Сизова с соавторами [26] показали, что перенос песка на данной дюне происходит как в теплое время, так и в конце зимнего периода, когда из-под снега освобождаются вершины дюн. Возможно, именно с этим связано формирование дюн северной ориентации.

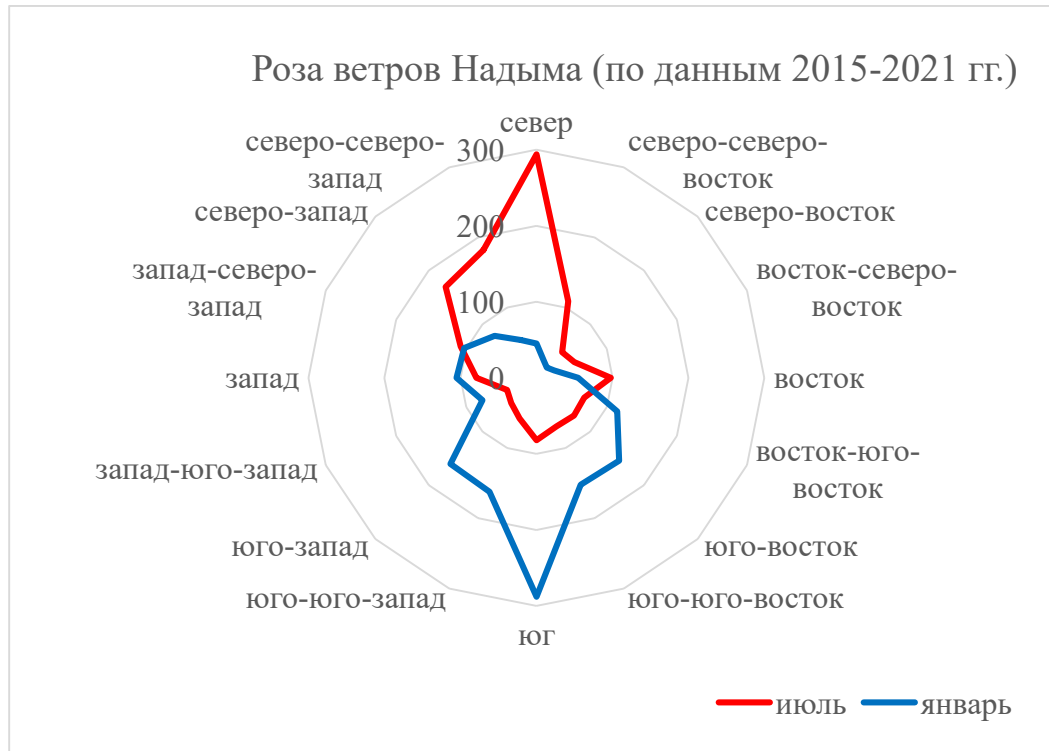


Рис. 2. Преобладающие направления ветров г. Надым, 2015–2021 гг.

Как показали исследования В. С. Зыкиной с соавторами [27], современный период дюнообразования в этом районе начался после 1500 г. н.э. С этого времени усилилась аридизация климата и сила северных ветров, что и стало причиной разрастания дюны, продолжающегося по настоящее время. Позднее началось активное освоение северных территорий человеком особенно во второй половине XX века [15, 17, 18]. Совокупность этих факторов привела к усиленному развитию эоловой дефляции которая сформировала современный рельеф. Начиная с 1955 г. для исследуемой территории есть данные о регулярных метеонаблюдениях, которые способствуют лучшему пониманию этого процесса (табл. 1).

За период наблюдения с 1955 по 2021 гг. среднегодовая температура повышалась, имея незначительные спады в 1958 ($-8,5^{\circ}\text{C}$), в 1960 (-9°C), в 1998 ($-7,8^{\circ}\text{C}$). Однако наблюдается общий тренд на повышение, среднегодовая температура за эти годы повысилась на 4°C (рис. 3А). Эти данные хорошо согласуются с прогнозами С. А. Архипова и др. [28], которые сделаны на основе палеогеографических реконструкций климатического оптимума последнего казанцевского межледниковья. При этом среднегодовая температура еще не достигла максимально прогнозируемых значений для территории Заполярья. А значит тренд на повышение температуры сохранится.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ФОРМИРУЮЩИЕ СОВРЕМЕННЫЙ ЭОЛОВЫЙ
РЕЛЬЕФ НАДЫМСКОГО ПРИОБЬЯ

Таблица 1.

Среднегодовые значения температуры, осадков, скорости ветра и фактора
климата C , по данным метеостанции Надым*

Год наблю- де-ния	Темпе- ра- тура, °С	Осадк и, мм	Ветер, м/с	Факто р клима та C	Год наблю- де-ния	Темпе- ра- тура, °С	Осадк и, мм	Ветер, м/с	Факто р клима та C
1955	-6,2	456,0	3,6	1,16	1990	-5,2	476,4	3,7	0,79
1956	-5,6	570,0	3,4	0,47	1991	-4,0	508,5	4,4	0,61
1957	-6,8	534,0	3,4	0,84	1992	-6,6	449,1	4,5	2,74
1958	-8,5	605,0	2,9	0,65	1993	-3,9	523,6	4,2	0,49
1959	-5,7	530,0	2,9	0,35	1994	-5,6	445,2	4,4	1,82
1960	-9,0	408,0	2,7	1,58	1995	-2,4	554,0	4,3	0,16
1961	-4,9	516,0	2,3	0,13	1996	-4,3	495,4	4,3	0,71
1962	-3,7	569,0	2,8	0,11	1997	-5,5	510,6	4,7	1,55
1963	-6,7	482,0	2,8	0,57	1998	-7,8	470,1	4,1	2,7
1964	-7,6	375,0	2,9	1,58	1999	-6,1	474,3	4,1	1,51
1965	-6,9	476,0	2,8	0,63	2000	-5,2	362,7	4,0	1,84
1966	-7,8	726,4	3,4	0,58	2001	-6,1	530,3	3,9	0,96
1967	-2,9	493,2	3,6	0,18	2002	-5,4	702,2	3,9	0,43
1968	-7,9	542,9	3,7	1,46	2003	-4,2	477,6	4,0	0,59
1969	-7,7	359,0	3,3	2,78	2004	-5,3	482,6	4,2	1,1
1970	-7,4	459,7	3,5	1,6	2005	-2,5	519,4	4,2	0,19
1971	-6,5	523,6	4,0	1,22	2006	-6,7	547,9	3,9	1,18
1972	-7,4	501,6	4,2	2,13	2007	-2,6	486,3	4,2	0,24
1973	-5,1	476,7	3,8	0,76	2008	-3,5	687,4	3,8	0,15
1974	-7,0	416,5	3,5	1,82	2009	-6,3	516,1	3,9	1,11
1975	-5,4	581,5	3,7	0,54	2010	-6,4	570,7	3,9	0,98
1976	-5,0	467,2	3,6	0,65	2011	-0,2	608,7	4,6	0,0015
1978	-6,7	565,9	4,2	1,29	2012	-2,3	499,2	4,0	0,15
1979	-7,3	626,3	3,5	0,77	2013	-4,6	538,8	4,3	0,71
1980	-5,6	425,4	3,5	0,93	2014	-5,8	649,8	4,6	0,95
1981	-3,5	434,2	3,6	0,35	2015	-3,5	701,5	4,2	0,21
1982	-4,9	563,5	4,3	0,7	2016	-2,1	468,3	4,1	0,15
1983	-4,0	422,1	3,9	0,66	2017	-3,1	513,0	2,6	0,07
1984	-5,1	473,3	3,9	0,86	2018	-4,5	476,4	2,5	0,17
1985	-6,6	485,5	3,8	1,31	2019	-3,5	643,1	2,6	0,05
1986	-5,4	543,8	3,9	0,72	2020	0,7	445,0	4,0	0,01
1987	-5,0	346,2	3,6	1,28	2021	-5,36	434,4	2,92	0,57
1988	-4,6	386,6	3,8	0,97	Среднее	-5,2	507,9	3,7	0,87
1989	-4,6	409,1	3,9	0,98					

* период наблюдения с 1955 по 2010 по (Сизов, 2015), с 2011 по 2021 (p15)

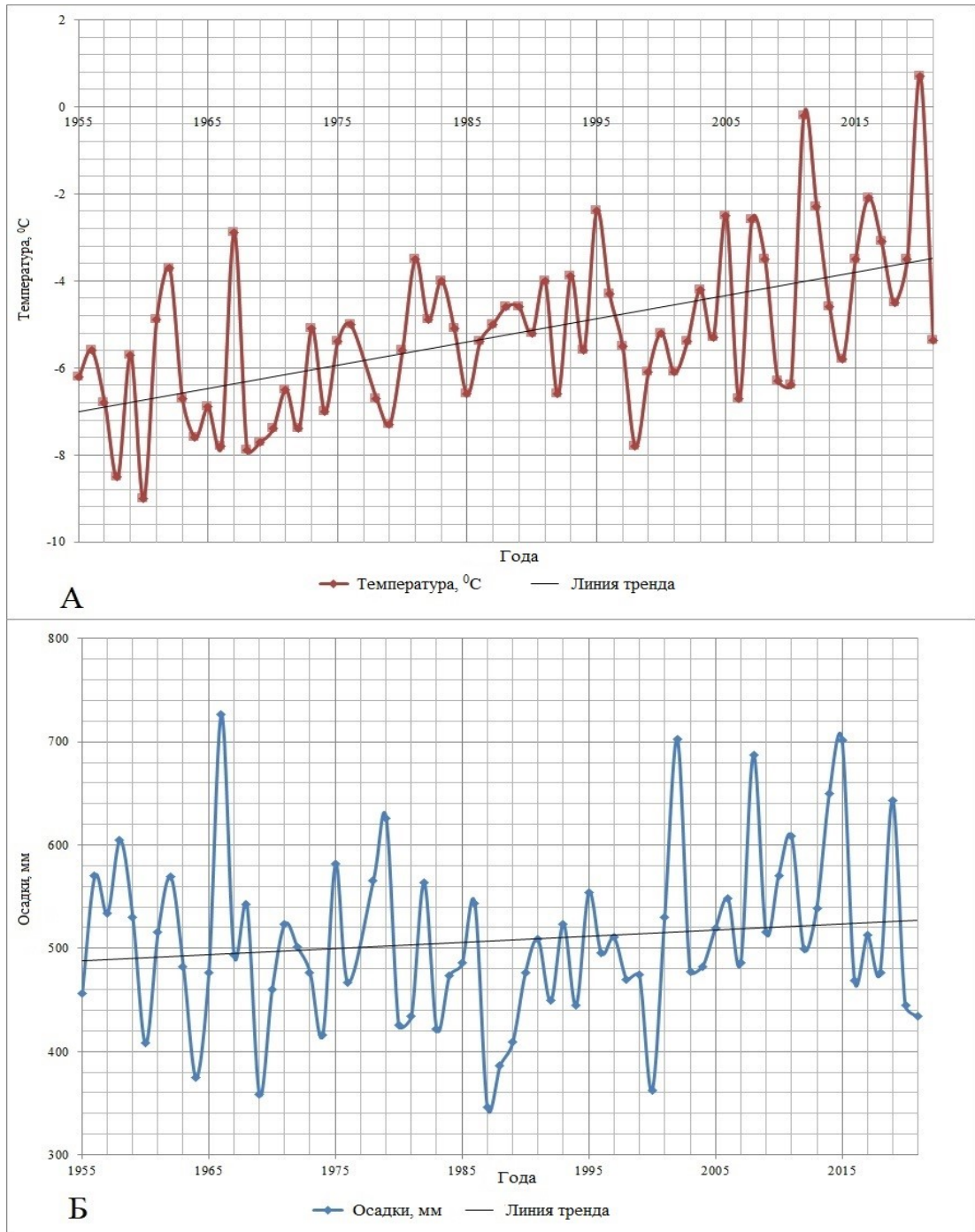


Рис. 3. Изменения среднегодовых температур (А) и количества осадков (Б), метеостанция Надым (по данным таблицы 1).

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ФОРМИРУЮЩИЕ СОВРЕМЕННЫЙ ЭОЛОВЫЙ РЕЛЬЕФ НАДЫМСКОГО ПРИОБЬЯ

В отличие от температуры, среднегодовая сумма осадков мало изменилась за аналогичный период (рис. 3Б). Есть существенные колебания от года к году, с пиками, как увеличения, так и уменьшения суммы осадков. Однако, общий тренд показывает лишь незначительное увлажнение, что не соответствует прогнозным моделям [28].

Имеющиеся данные о среднегодовых скоростях ветра показывают тенденцию аналогичную среднегодовой температуре. Несмотря на отчетливо выраженные флуктуации (отклонения) в среднегодовых скоростях ветров в 50-х XX века и в 20-х гг. XXI века (рис. 4), в целом наблюдается тренд на увеличение среднегодовой скорости ветра.

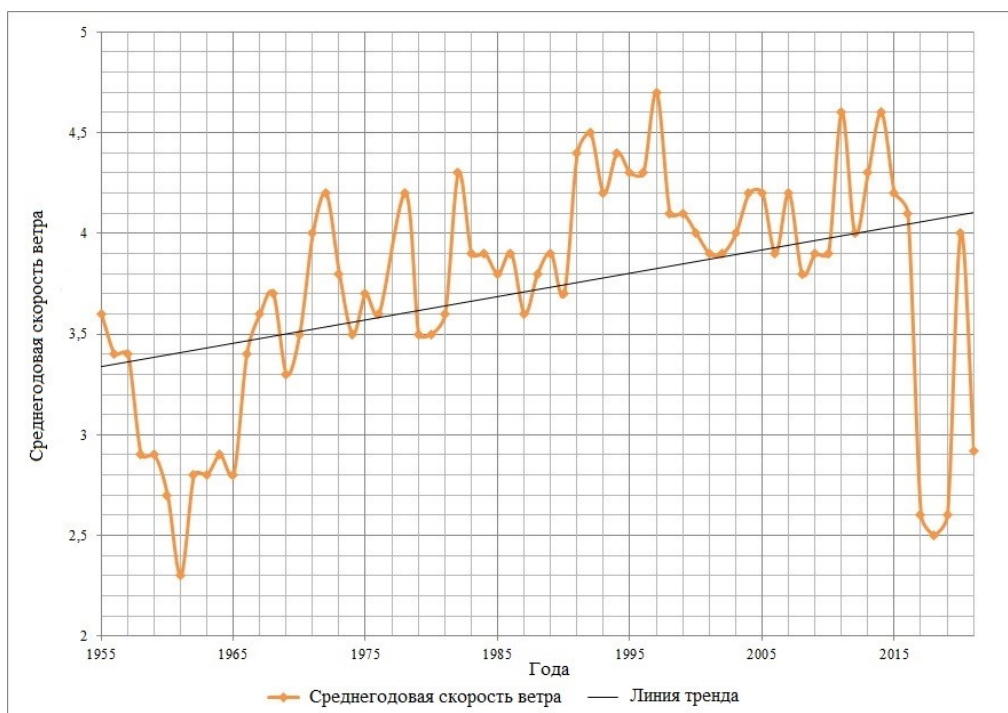


Рис. 4. Изменение среднегодовых скоростей ветра, метеостанция Надым (по данным таблицы 1).

Оценка дефляционного потенциала через фактор климата (С) показала, что наибольшая интенсивность дефляции в районе исследования наблюдалась в 70-х и 90-х гг. XX века (таблица 1), когда фактор климата достигал $C=2,78$. В настоящее время он снизился до минимальных значений за всё время наблюдений, характеризующих очень слабую дефляцию (до 0,001 в 2011 и 0,01 в 2020). Это явилось одним из факторов активного зарастания территории дюнного раздува [29], что говорит о цикличности климатических колебаний. За время наблюдений на данной территории дефляция носила умеренный и сильный характер, но в последнее

десятилетие наблюдается тенденция к снижению дефляции до значений, характеризующих слабую и очень слабую дефляцию. Вероятно, это связано с увеличением температуры и снижением интенсивности ветра в исследуемом районе в последние годы (таблица 1).

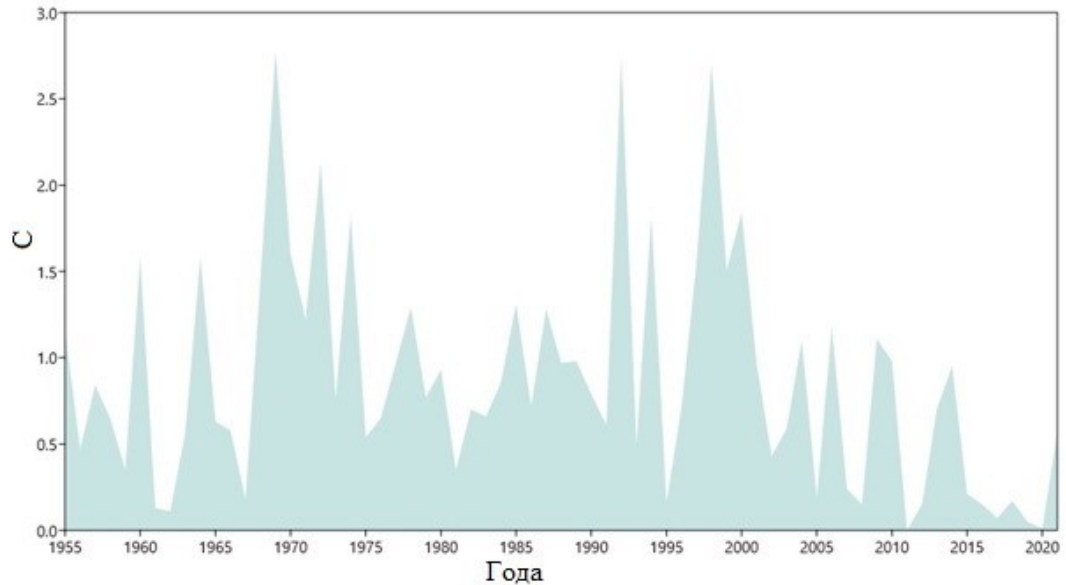


Рис. 5 Динамика среднегодовых значений фактора климата С, метеостанция Надым.

Рассчитанные за 2015–2021 гг. показатели фактора климата (С) показали снижение дефляции до значений слабой и очень слабой (рис. 5). Это хорошо согласуется с результатами наблюдений за интенсивностью эолового переноса, проводимых О.С. Сизовым с соавторами [26]. Ими показано снижение интенсивности эолового осадконакопления на данной дюне 1,5–2 раза за период 2014–2019 гг. [26]. В это же время наблюдается снижение среднегодовых скоростей ветра (рис. 4).

Хорошо видны изменения фактора климата по месяцам (рис. 6). Наибольших значений фактор климата достигал в мае 2014 г. (2,7), наименьших значений — в феврале 2011 г. (0,0006). Если смотреть в целом, по графику видно, что в летние месяцы фактор климата поднимается до наибольших значений. Это хорошо согласуется с тем, что дюна перевеивается именно летом.

Скорость эолового осадконакопления определяется интенсивностью ветра с апреля по октябрь (средней скоростью и количеством максимальных порывов), в частности, в 2017 г. наблюдался минимум, а в 2014 г. — максимум эолового переноса, что совпадает с затуханием и активизацией ветровой деятельности в эти годы. В апреле и мае доминируют ветры северо-западных румбов, в сентябре и октябре преобладают южные и западные ветры.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ФОРМИРУЮЩИЕ СОВРЕМЕННЫЙ ЭОЛОВЫЙ РЕЛЬЕФ НАДЫМСКОГО ПРИОБЬЯ

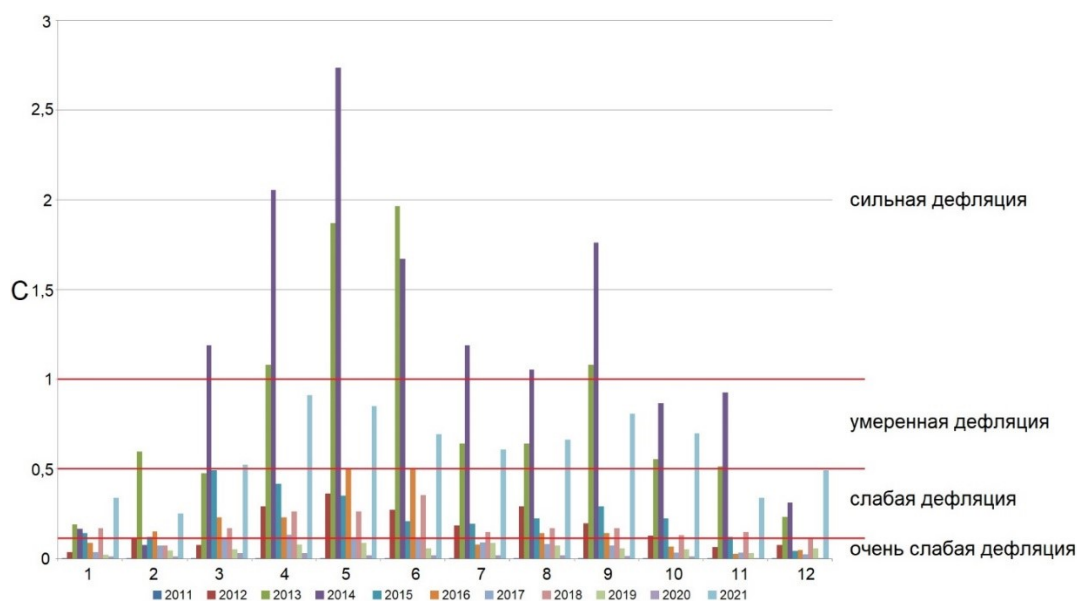


Рис. 6 Динамика значений фактора климата С по месяцам (2011-2021 гг.), метеостанция Надым.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Чтобы оценить факторы формирования современного эолового рельефа территории Надымского Приобья, было выполнено: геотермическое картографирование, построена роза ветров и графики изменения среднегодовой температуры и количества осадков, а также график изменения среднегодовых скоростей ветра. Рассчитан показатель фактора климата (С).

Геотермическое картографирование показало, что зимой температура распределяется примерно равномерно по территории дюны и сопредельным территориям со сплошным растительным покровом. Что, видимо, обусловлено сплошным снежным покровом территории. Летом же ситуация сильно отличается. Можно выделить дюну как остров тепла, на карте видно, что тепло задерживается на территории дюны.

Анализ климатических данных показал, что с 1955 г. XX в. среднегодовая температура повысилась на 4 °С, вероятно это связано с глобальным потеплением. Среднегодовая сумма осадков мало изменилась. Активность же ветров имеет ярко выраженную сезонность и наибольшая дефляция характерна именно для тёплого сезона года. Оценка дефляционного потенциала показала, что дефляция снизилась до минимальных значений за всё время наблюдений. Это явилось одним из факторов активного зарастания территории дюнного раздува.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИГМ СО РАН.

Список литературы

1. Holm D. Sand dunes. In R. W. Fairbridge (Ed.), *The encyclopedia of geomorphology*. New York: Reinhold. 1968. pp. 973–979.
2. Brookfield M. Dune trends and wind regime in central Australia. *Z. Geomorph. Suppl. Bd.* 1970. 10. pp. 121–153.
3. Wilson I. Desert sandflow basins and a model for the development of ergs. *Geogr. J.* 1971. 137. pp. 180–199.
4. Fryberger S., Ahlbrandt, T. Mechanisms for the formation of eolian sand seas. *Z. Geomorph.* 1979. 23. pp. 440–460.
5. Mainguet M., Cossus L. Sand circulation in the Sahara: geomorphological relation between the Sahara Desert and its margin. In M. Sarnthein, E. Seibold, & P. Rognon (Eds.), *Sahara and surrounding seas* Rotterdam: Balkema. 1980. pp. 69–78.
6. Fryberger S., Al-Sari A., Clisham, T., Rizvi S., Al-Hinai K. Windsedimentation in the Jafurah Sand Sea, Saudi Arabia. *Sedimentology*. 1984. 31. pp. 413–431.
7. Pye K., Tsoar H., *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Germany, 2009. pp. 458. DOI 10.1007/978-3-540-85910-9
8. Hack J. Dunes of the Western Navajo Country. *Geographical Review*. 1941. 31(2). pp. 240–263.
9. Panas T. Sand dune environments in first nations lifeways: holistic interpretation for the middle and late precontact periods on the northern plains // A Thesis Submitted to the College of Graduate and Postdoctoral Studies In Partial Fulfillment of the Requirements For the Degree of Doctor of Philosophy In the Interdisciplinary Studies Program, 2018. 337 p.
10. Muhs D., Wolfe S. Sand dunes of the northern Great Plains of Canada and the United States. In *Holocene Climate and Environmental Change in the Palliser Triangle: A Geoscientific Context for Evaluating the Impacts of Climate Change on the Southern Canadian Prairies*. In D. S. Lemmen and R. E. Vance (Eds.), *Geological Survey of Canada Bulletin 534*. Ottawa. 1999. pp. 183–197.
11. Wolfe S., Nickling W. The protective role of sparse vegetation in wind erosion. *Progress in Physical Geography*. 1993. 17(1). pp. 50–68.
12. Wolfe S., Nickling W. Sensitivity of Eolian Processes to Climate Change in Canada. *Geological Survey of Canada Bulletin 421*. Ottawa. 1997. 30 p.
13. Koenig D. The Effects of Dune Stabilization on the Spatiotemporal Distribution of Soil Moisture Resources, Northern Great Plains, Canada. Unpublished Master's thesis, Department of Geography, University of Lethbridge. Lethbridge. 2008. 97 p.
14. Sloss C., Hesp P., Shepherd M. Coastal Dunes: Aeolian Transport. *Nature Education Knowledge*. 2012. 3(10): 21.
15. Земцов А.А. Геоморфология Западно-Сибирской равнины (северная и центральная части). Томск: Изд-во Томского университета, 1976. 343 с.
16. Никулина Е. Л. Позднотерциарные эоловые формы рельефа Надымского Приобья // IX Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле: мат конф. Новосибирск: Изд-во ИПЦ НГУ, 2018. С. 420–422.
17. Сизов О. С. Антропогенные факторы развития эоловых процессов на севере Западной Сибири // Антропогенная динамика природной среды: мат. Междунар. научно-практич. конф. Пермь: Изд-во Перм. Ун-та, 2006. С. 183–185.
18. Сизов О. С. Геоэкологические аспекты современных эоловых процессов северотаяжской подзоны Западной Сибири. Новосибирск: Гео, 2015. 124 с.
19. Маликова Е. Л. Картографирование эоловых форм рельефа Надымского Приобья // Географические исследования Сибири и сопредельных территорий: мат. Междунар. геогр. конф. Иркутск: Изд-во Инст. геогр. им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2019. С. 510–513.
20. Казачкова К.К. Климатическая характеристика зоны освоения нефти и газа Тюменского севера. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 195 с.
21. Евсеева Н. С. Современный морфолитогенез юго-востока Западно-Сибирской равнины. Томск: Изд-во НТЛ, 2009. 484 с.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ФОРМИРУЮЩИЕ СОВРЕМЕННЫЙ ЭОЛОВЫЙ РЕЛЬЕФ НАДЫМСКОГО ПРИОБЬЯ

22. Любцова Е. М. Эоловые процессы // Пространственно-временной анализ динамики эрозионных процессов на юге Восточной Сибири. Новосибирск: Изд-во Наука, 1997. С. 132–177.
23. Архив погоды - <https://rp5.ru> (дата обращения: 25.05.2021)
24. USGS [Electronic resource]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 20.12.2021)
25. Маликова Е. Л. Об эоловых формах рельефа на примере Надымского Приобья // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2020. Т. 6 (72). № 3. С. 321–334.
26. Сизов О. С., Соромотин А. В., Костомаров В. М. Динамика эоловой деятельности на примере модельной котловины выдувания в нижнем течении р. Надым за 2013-2019 гг. // Геоморфология и физическая география Сибири в XXI веке: мат. Всероссийской научно-практич. конф. Томск: Изд-во Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2020. С. 56–60.
27. Зыкина В. С., Зыкин В. С., Вольвах А. О., Овчинников И. Ю., Сизов О. С., Соромотин А. В. Строение, криогенные образования и условия формирования верхнечетвертичных отложений Надымского Приобья // Криосфера Земли. 2017. Т. XXI. №6. С. 14–25.
28. Архипов С. А., Волкова В. С., Зыкина В. С., Бахарева В. А., Гуськов С. А., Левчук Л. К. Природно-климатические изменения в Западной Сибири в первой трети будущего столетия // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. №8. С. 51–71.
29. Лоботросова С. А., Сафонов Ю. С., Соромотин А. В., Сизов О. С. Роль мезорельефа в зарастании естественных песчаных дюн в подзоне Северной тайги Западной Сибири // Актуальные вопросы биогеографии: мат. Междунар. конф. СПб: Санкт-Петербургский гос. ун-т, 2018. С. 242–244.

CLIMATIC FACTORS FORMING THE MODERN AEOLIAN RELIEF IN THE NADYM OB AREA

Malikova E. L.

*V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation
E-mail: malikovael@igm.nsc.ru*

This study considers the area of sand blowing, located in the valley of the river Nadym. The factors of formation of the modern eolian relief of the territory were assessed, for this purpose, geothermal mapping was performed, a wind rose was built, and the climate factor index (C) was calculated.

Isothermal maps show that in winter the isolines only go around the dune from afar. This may indicate that in winter the temperature is distributed approximately evenly over the territory of the dune and adjacent territories with a continuous vegetation cover. Which, apparently, is due to the continuous snow cover of the territory. In summer, the situation is very different. You can single out the dune as a heat island, the map shows that the heat lingers on the territory of the dune, that the sand has a warming effect in summer. This may be due to its mechanical composition, porosity and other properties.

The available data on wind speed and direction for the study area cover a relatively short period, but this is sufficient to understand the wind regime in the region. The spatial distribution of dunes within the bulge is in good agreement with the directions and strength of the prevailing winds. These data indicate that the most active advancement of the dune occurs in summer; therefore, almost all eolian forms are concentrated in the southeastern part of the blow, where the sand moves under the influence of northern and northwestern winds. In 2015–2021 average north wind speed ~3 m/s; gusts ~11 m/s. Despite the fact that the winds of the southern rhumb are close in strength and intensity to the northern winds (the average speed of southerly winds is ~2.8 m/s; gusts are ~11 m/s in 2015–2021), the

main part of these winds falls on cold season. For this reason, in the winter season, the dunes remain almost immobile. Frozen and snow-covered sand is not subject to fluttering, and therefore, in the northern parts of the territory, accumulative landforms are practically not observed.

Over the observation period from 1955 to 2021 the average annual temperature increased, having slight declines in 1958 (-8.5 0C), in 1960 (-9 0C), in 1998 (-7.8 0C). However, there is a general upward trend, the average annual temperature has increased by 4 0C over these years. In contrast to temperature, the average annual precipitation has changed little over the same period. There are significant fluctuations from year to year, with peaks of both increase and decrease in the amount of precipitation.

Available data on average annual wind speeds show a trend similar to average annual temperature. Despite clearly pronounced fluctuations (deviations) in the average annual wind speeds in the 50s of the XX century and in the 20s. XXI century, in general, there is a trend towards an increase in the average annual wind speed.

Assessment of the deflationary potential through the climate factor (C) showed that the highest intensity of deflation in the study area was observed in the 70s and 90s. XX century, when the climate factor reached $C=2.78$. At present, it has fallen to the minimum values for the entire time of observations, characterizing a very weak deflation (to 0.001 in 2011 and 0.01 in 2020). This was one of the factors of active overgrowth of the territory of dune swelling, which indicates the cyclical nature of climatic fluctuations. During the observation period in this territory, deflation was moderate and strong, but in the last decade there has been a tendency for deflation to decrease to values characterizing weak and very weak deflation. This is probably due to an increase in temperature and a decrease in wind intensity in the study area in recent years.

Keywords: eolian relief, Nadym Ob region, climate, global warming, wind, climatic factors.

References

1. Holm D. Sand dunes. In R. W. Fairbridge (Ed.), *The encyclopedia of geomorphology*. New York: Reinhold. 1968. pp. 973–979.
2. Brookfield M. Dune trends and wind regime in central Australia. *Z. Geomorph. Suppl. Bd.* 1970. 10. pp. 121–153.
3. Wilson I. Desert sandflow basins and a model for the development of ergs. *Geogr. J.* 1971. 137. pp. 180–199.
4. Fryberger S., Ahlbrandt, T. Mechanisms for the formation of eolian sand seas. *Z. Geomorph.* 1979. 23. pp. 440–460.
5. Mainguet M., Cossus L. Sand circulation in the Sahara: geomorphological relation between the Sahara Desert and its margin. In M. Sarnthein, E. Seibold, & P. Rognon (Eds.), *Sahara and surrounding seas* Rotterdam: Balkema. 1980. pp. 69–78.
6. Fryberger S., Al-Sari A., Clisham, T., Rizvi S., Al-Hinai K. Windsedimentation in the Jafurah Sand Sea, Saudi Arabia. *Sedimentology*. 1984. 31. pp. 413–431.
7. Pye K., Tsoar H., *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Germany, 2009. pp. 458. DOI 10.1007/978-3-540-85910-9
8. Hack J. Dunes of the Western Navajo Country. *Geographical Review*. 1941. 31(2). pp. 240–263.
9. Panas T. Sand dune environments in first nations lifeways: holistic interpretation for the middle and late precontact periods on the northern plains // A Thesis Submitted to the College of Graduate and Postdoctoral Studies In Partial Fulfillment of the Requirements For the Degree of Doctor of Philosophy In the Interdisciplinary Studies Program, 2018. 337 p.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ФОРМИРУЮЩИЕ СОВРЕМЕННЫЙ ЭОЛОВЫЙ РЕЛЬЕФ НАДЫМСКОГО ПРИОБЬЯ

10. Muhs D., Wolfe S. Sand dunes of the northern Great Plains of Canada and the United States. In *Holocene Climate and Environmental Change in the Palliser Triangle: A Geoscientific Context for Evaluating the Impacts of Climate Change on the Southern Canadian Prairies*. In D. S. Lemmen and R. E. Vance (Eds.), Geological Survey of Canada Bulletin 534. Ottawa. 1999. pp. 183–197.
11. Wolfe S., Nickling W. The protective role of sparse vegetation in wind erosion. *Progress in Physical Geography*. 1993. 17(1). pp. 50–68.
12. Wolfe S., Nickling W. Sensitivity of Eolian Processes to Climate Change in Canada. Geological Survey of Canada Bulletin 421. Ottawa. 1997. 30 p.
13. Koenig D. The Effects of Dune Stabilization on the Spatiotemporal Distribution of Soil Moisture Resources, Northern Great Plains, Canada. Unpublished Master's thesis, Department of Geography, University of Lethbridge. Lethbridge. 2008. 97 p.
14. Sloss C., Hesp P., Shepherd M. Coastal Dunes: Aeolian Transport. *Nature Education Knowledge*. 2012. 3(10): 21.
15. Zencov A.A. Geomorfologija Zapadno-Sibirskoj ravniny (severnaja i central'naja chasti). Tomsk: Izd-vo Tomskogo universiteta, 1976. 343 s. (in Russian)
16. Nikulina E.L. Pozdnogolocenovyje jeolovyje formy rel'efa Nadym'skogo Priob'ja // IX Sibirskaja konferencija molodyh uchenyh po naukam o Zemle: mat. konf. Novosibirsk: Izd-vo IPC NGU, 2018. S. 420–422. (in Russian).
17. Sizov O. S. Antropogennye faktory razvitiya jeolovyh processov na severe Zapadnoj Sibiri // Antropogennaja dinamika prirodnoj sredy: mat. Mezhdunar. nauchno-praktich. konf. Perm': Izd-vo Perm. Un-ta, 2006. S. 183–185. (in Russian).
18. Sizov O. S. Geojekologicheskie aspekty sovremennyh jeolovyh processov severotaeznoj podzony Zapadnoj Sibiri. Novosibirsk: Geo, 2015. 124 s. (in Russian).
19. Malikova E. L. Kartografirovanie jeolovyh form rel'efa Nadym'skogo Priob'ja // Geograficheskie issledovanija Sibiri i sopedel'nyh territorij: mat. Mezhdunar. geogr. konf. Irkutsk: Izd-vo Inst. geogr. im. V.B. Sochavy SO RAN, 2019. pp. 510–513. (in Russian).
20. Kazachkova K. K. Klimaticheskaja harakteristika zony osvoenija nefi i gaza Tjumenskogo severa. L.: Gidrometeoizdat, 1982. 195 s. (in Russian).
21. Evseeva N. S. Sovremennyy morfologičeskij jugo-vostoka Zapadno-Sibirskoj ravniny. Tomsk: Izd-vo HTJI, 2009. 484 s. (in Russian).
22. Ljubcova E. M. Jeolovyje processy // Prostranstvenno-vremennoj analiz dinamiki jerozionnyh processov na jube Vostočnoj Sibiri. Novosibirsk: Izd-vo Nauka, 1997. S. 132–177. (in Russian)
23. Arhiv pogody [Electronic resource]. URL: <https://rp5.ru/> (data obrashhenija: 25.05.2021).
24. USGS [Electronic resource]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (data obrashhenija: 20.12.2021).
25. Malikova E. L. Ob jeolovyh formah rel'efa na primere Nadym'skogo Priob'ja // Uchjonyje zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernad'skogo. Geografija. Geologija. 2020. T. 6 (72). № 3. S. 321–334. (in Russian).
26. Sizov O. S., Soromotin A. V., Kostomarov V. M. Dinamika jeolovoj dejatel'nosti na primere model'noj kotloviny vyduvanija v nizhnem techenii r. Nadym za 2013–2019 gg. // Geomorfologija i fizicheskaja geografija Sibiri v XXI veke: mat. Vseros. nauchno-prakt. konf. Tomsk: Izd-vo Nac. issled. Tomskij gos. un-t, 2020. pp. 56–60. (in Russian).
27. Zykina V. S., Zykin V. S., Vol'vah A. O., Ovchinnikov I. Ju., Sizov O. S., Soromotin A. V. Stroenie, kriogennye obrazovanija i uslovija formirovanija verhnecetvertičnyh otlozhenij Nadym'skogo Priob'ja // Kriosfera Zemli. 2017. T. XXI, № 6. pp. 14–25 (in Russian).
28. Arhipov S. A., Volkova V. S., Zykina V. S., Bahareva V. A., Gus'kov S.A., Levchuk L.K. Prirodno-klimaticheskie izmenenija v Zapadnoj Sibiri v pervoj treti budushhego stoletija // Geologija i geofizika. 1995. T. 36. №8. S. 51–71. (in Russian).
29. Lobotrosova S. A., Safonov Ju. S., Soromotin A. V., Sizov O. S. Rol' mezorel'efa v zarastanii estestvennyh peschanyh djun v podzone Severnoj tajgi Zapadnoj Sibiri // Aktual'nye voprosy biogeografii: mat. Mezhdunar. konf. SPb: Sankt-Peterburgskij gos. un-t, 2018. pp. 242–244. (in Russian).

Поступила в редакцию 23.06.2022 г.