

УДК 551.582:551.583.1

ИЗМЕНЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ СРЕДНЕГО УРАЛА

Иванова Ю.Р., Скок Н.В., Евдокимова А.М.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный педагогический университет», Екатеринбург,
e-mail: miss.nocentra@list.ru

Большая часть территории России находится под влиянием изменяющегося климата. В разных частях страны они более или менее значительны и проявляются в виде изменения отдельных показателей и увеличения числа погодных аномалий. На основе долговременных рядов метеорологических наблюдений, проводимых Уральской гидрометеорологической службой на метеостанции г. Нижнего Тагила с 1839 г., охарактеризованы современные тренды основных метеорологических параметров. Представлена характеристика и тренд-анализ температуры воздуха, атмосферных осадков, снежного покрова и некоторых агроклиматических показателей за три непрерывных периода: 26-летний с 1840 по 1865 г., 82-летний с 1877 по 1958 г. и 49-летний с 1969 по 2018 г. Выявлены тенденции изменения значений, для которых рассчитаны средние многолетние значения со средними квадратическими отклонениями. Для характеристики временных рядов метеорологических показателей проанализирован коэффициент наклона линейного тренда изменения средней месячной и среднегодовой температур воздуха и степень достоверности аппроксимации на изучаемой территории за период инструментальных наблюдений. Обнаружены волнообразные колебания в рядах среднемесячных и среднегодовых температур воздуха, циклические колебания и увеличение годового количества атмосферных осадков. Высота снежного покрова также имеет тенденцию к повышению, хоть и менее выраженную. Продолжительность безморозного периода значительно варьирует и в среднем составляет 105 дней. Для анализа современных изменений среднегодовой температуры воздуха были рассчитаны значения отклонений последних тридцати лет от показателей базового периода. В заключение сделан вывод на основе комплексного анализа всех метеорологических показателей для территории северной части Среднего Урала.

Ключевые слова: Средний Урал, Нижний Тагил, метеорологические показатели, тренд-анализ, аномалии температур, количество осадков, изменения климата

CHANGE OF METEOROLOGICAL INDICES OF THE NORTHERN MIDDLE URAL

Ivanova Yu.R., Skok N.V., Evdokimova A.M.

Ural State Pedagogical University, Yekaterinburg, e-mail: miss.nocentra@list.ru

Most of the territory of Russia is influenced by a changing climate. In different parts of the country, they are more or less significant and manifest themselves in the form of changes in individual indicators and an increase in the number of weather anomalies. Based on long-term series of meteorological observations conducted by the Ural Hydrometeorological Service at the weather station of Nizhny Tagil since 1839, modern trends of the main meteorological parameters are characterized. The characteristics and trend analysis of air temperature, precipitation, snow cover and some agroclimatic indicators for three continuous periods are presented: 26-year-old from 1840 to 1865, 82-year-old from 1877 to 1958 and 49 years old from 1969 to 2018. Trends in the values have been identified for which long-term average values with mean square deviations have been calculated. To characterize the time series of meteorological indicators, the slope coefficient of the linear trend of changes in the average monthly and average annual air temperatures and the degree of reliability of the approximation in the study area for the period of instrumental observations are analyzed. Wavy fluctuations were found in the series of monthly average and annual average air temperatures, cyclical fluctuations and an increase in the annual amount of precipitation. Snow depth also tends to increase, albeit less pronounced. The duration of the frost-free period varies significantly and, on average, is 105 days. To analyze current changes in the average annual air temperature, the deviations of the last thirty years from the indicators of the base period were calculated. In conclusion, a conclusion is drawn based on a comprehensive analysis of all meteorological indicators for the territory of the northern part of the Middle Urals.

Keywords: Middle Urals, Nizhny Tagil, meteorological indicators, trend analysis, temperature anomalies, precipitation

На территории России и ближнего зарубежья в последнее десятилетие было опубликовано достаточно большое количество работ об изменениях регионального климата. Примерами таких исследований за различные временные периоды могут служить: в республике Татарстан 48-летние наблюдения с 1966 по 2013 г. [1]; в Кыргызстане 80-летние наблюдения с 1930 по 2010 г.; на Северном Кавказе за 54 года с 1961 по 2015 г. [2]; на территории Среднего Поволжья с 1955 по 2004 г. (49 лет) [3]; в Обь-Иртышском междуречье с 1936 по 2006 г. [4]; на Чукотке за 1951–2013 г.

(62 года) [5]. Большинство исследователей, рассматривая современные изменения отдельных метеорологических показателей, отмечают их циклический характер.

Цель исследования: проанализировать изменения ряда метеорологических показателей по данным метеостанции г. Нижнего Тагила.

Материалы и методы исследования

Первые регулярные инструментальные наблюдения в северной части Среднего Урала начали проводиться в конце 1839 г. на территории Нижнетагильского метал-

лургического завода в южной части усадьбы заводоуправления [6]. В 1856–1862 гг. метеостанция была перенесена на 1,2 км на юго-восток и по-прежнему осталась в непосредственной близости от Нижнетагильского пруда. В 1934 г. метеостанция вновь была перенесена, теперь уже на постоянное место – 10,2 км юго-восточнее прежнего местоположения. В настоящее время метеостанция г. Нижнего Тагила находится в поселке Зональный и имеет координаты 57°53' с.ш. 60°04' в.д., абсолютная высота 258 м.

Информационная база для изучения тенденций изменения метеорологических показателей северной части Среднего Урала была получена из различных источников: государственной наблюдательной сети Росгидромета за основной период 1966–2009 гг. [7], климатологических справочников [8], ежегодных обзоров состояния и тенденций изменения климата России ФГБУ «Институт глобального климата и экологии» [1; 9–11] и данных Университета Восточной Англии [12]. Для статистических расчетов были использованы исходные временные ряды средних годовых и средних месячных значений температуры приземного воздуха, данные о количестве атмосферных осадков, высоте снежного покрова и дате его полного разрушения, а также продолжительность безморозного периода.

Динамические ряды метеорологических показателей характеризуются значительным уровнем «шума». Для его устранения и повышения наглядности ряда было применено одиннадцатилетнее сглаживание среднегодовых значений. Для обработки данных использовалось ПО Microsoft Excel, в частности надстройка «Пакет анализа» – описательная статистика, регрессия. При построении графиков для выявления устойчивых тенденций изменения в качестве основных методов использовались сравнительный, линейных и кусочно-линейных трендов [13].

Результаты исследования и их обсуждение

Температуры приземного воздуха. В связи с тем, что метеостанция дважды меняла свое местоположение, в рядах имеются пропуски, поэтому были проанализированы отдельные непрерывные массивы. Первый из них 26-летний – с 1840 по 1865 г., второй, наиболее длинный, 82-летний – с 1877 по 1958 г., и последний,

49-летний – с 1969 по 2018 г. Среднемесячные и среднегодовые температуры воздуха для этих временных промежутков приведены в табл. 1. Данные таблицы свидетельствуют о постоянном и значительном повышении среднегодовой температуры приземного воздуха (СГТВ) на протяжении всего периода наблюдений. Первые два ряда различаются незначительно – на 0,2 °С, последний же характеризуется резким увеличением показателя более чем в 2 раза. Средние температуры отдельных месяцев имеют разнонаправленные тенденции к изменению: показатели января, марта, апреля и октября–декабря стремятся к устойчивому повышению. Средняя температура февраля до последнего временного ряда оставалась неизменной, мая и сентября – колеблется в пределах 0,1–0,2 °С. Температуры летних месяцев имеют устойчивые тенденции к понижению.

Таблица 1
Среднемесячные и среднегодовые температуры воздуха (°С) для непрерывных рядов данных метеостанции г. Нижний Тагил

| | 1840–1865 гг. | 1877–1958 гг. | 1969–2018 гг. |
|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Январь | –16,8 | –16,2 | –14,5 |
| Февраль | –13,7 | –13,7 | –12,8 |
| Март | –7,7 | –7,4 | –5,0 |
| Апрель | +1,4 | +2,2 | +2,9 |
| Май | +9,4 | +9,4 | +9,5 |
| Июнь | +15,1 | +15,1 | +14,9 |
| Июль | +18,4 | +17,1 | +16,8 |
| Август | +14,8 | +14,7 | +14,0 |
| Сентябрь | +8,6 | +8,9 | +8,7 |
| Октябрь | +0,6 | +1,1 | +1,4 |
| Ноябрь | –7,9 | –7,3 | –6,8 |
| Декабрь | –15,2 | –14,2 | –12,2 |
| Среднегодовая | +0,6 | +0,8 | +1,4 |

С помощью тренд-анализа становится возможным достаточно точно охарактеризовать тенденции изменения значений СГТВ на изучаемых отрезках времени (рис. 1). Линия тренда свидетельствует о постоянном повышении показателя. Однако сглаженные одиннадцатилетние значения середины XIX века имеют тенденцию к понижению, период 1877–1958 гг. характеризуется волнообразными колебаниями, а с 1980 г. наблюдается устойчивое повышение. СГТВ последнего периода уже не принимают отрицательные значения, а колеблются в диапазоне от 0 °С до +2,8 °С.

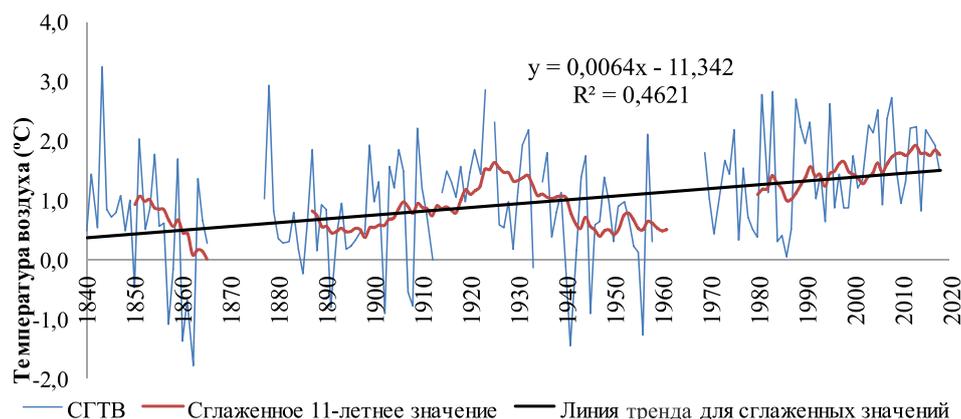


Рис. 1. Фактические и сглаженные значения среднегодовых температур воздуха в 1840–2018 гг. в г. Нижний Тагил

Среднемесячные температуры воздуха в основном характеризуются значительными изменениями: коэффициент наклона линейного тренда имеет устойчивую тенденцию к повышению в декабре, январе, марте и апреле и, наоборот, к понижению в конце лета – начале осени. Тренды мая и июня за весь период наблюдений выражены слабо (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициент наклона линейного тренда (КНЛТ) средней месячной температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) и степень достоверности аппроксимации в 1840–2018 гг.

| Месяц | КНЛТ | R ² | Месяц | КНЛТ | R ² |
|---------|------|----------------|----------|-------|----------------|
| Январь | 0,26 | 0,67 | Июль | -0,01 | 0,41 |
| Февраль | 0,05 | 0,05 | Август | -0,06 | 0,23 |
| Март | 0,22 | 0,62 | Сентябрь | -0,02 | 0,04 |
| Апрель | 0,09 | 0,34 | Октябрь | 0,08 | 0,20 |
| Май | 0,01 | 0,01 | Ноябрь | 0,07 | 0,07 |
| Июнь | 0,02 | 0,03 | Декабрь | 0,18 | 0,48 |

Для изучаемой территории, как и для России в целом, в последние десятилетия наблюдается определенное замедление повышения СГТВ: температура колеблется на уровне достигнутых ранее высоких значений. Во временном ряду среднегодовых аномалий температуры период после 1970 г. характеризуется наиболее интенсивным потеплением и уменьшением количества отрицательных отклонений (рис. 2).

Атмосферные осадки. Для оценки изменений количества атмосферных осадков были использованы данные за 82-летний

период с 1937 по 2018 г. На территории Среднего Урала, как и в России в целом, характерно увеличение годовой суммы осадков (рис. 3).

Суммы осадков, по данным метеостанции, варьируют в диапазоне 269–869 мм в год, а их среднее многолетнее значение составляет чуть более 500 мм. Межгодовые колебания до конца 70-х годов имеют выраженный волнообразный характер: из 10 лет только 2–3 имеют избыточное количество осадков ($\Sigma O \geq 120\%$). Линия тренда свидетельствует об устойчивом увеличении годовой суммы атмосферных осадков. В последние 40 лет волновые колебания имеют большую длину: влажные годы встречаются все чаще, а в 2015–2016 гг. зафиксировано рекордное количество осадков – более 800 мм.

Снежный покров. Для оценки изменения высоты снежного покрова и продолжительности его залегания был проанализирован ряд данных за 46 лет с 1973 по 2018 г. В среднем высота снежного покрова за данный период составляет 47 см. Минимальное значение было зафиксировано в 1974 г. – 13 см, максимальное в 2001 г. – 91 см. Данный показатель, как и ранее рассмотренные, имеет тенденцию к увеличению, однако гораздо менее выраженную (рис. 4).

В северной части Среднего Урала продолжительность залегания устойчивого снежного покрова составляет 170–190 дней, а его разрушение в среднем происходит 13 апреля [14]. Ряд данных, соответствующий последним 46 годам, свидетельствует, что полное разрушение постоянного снежного покрова происхо-

дит раньше (рис. 5). Самая ранняя дата зафиксирована в 2011 г. – 14 марта, а в 1998 г. снежный покров растаял полностью только 5 мая. В 44% случаев снежный покров полностью разрушается во вторую декаду

апреля, в то время как на первую и последнюю приходится 24 и 15% случаев соответственно. Однако раннее таяние – во вторую-третью декады марта – встречается значительно чаще, чем запаздывание.

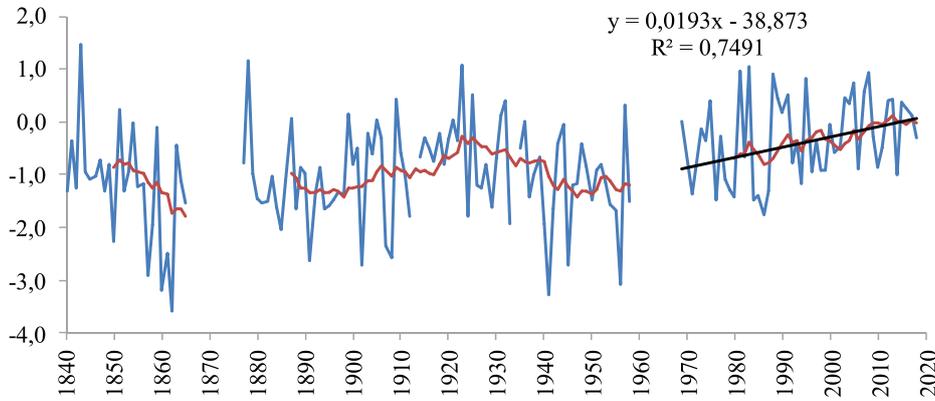


Рис. 2. Изменения аномалий СГТВ в течение 1840–2018 гг. Красная кривая показывает сглаженный ход температуры, черная линия – тренд за 1969–2018 гг.



Рис. 3. Годовое количество осадков в г. Нижнем Тагиле

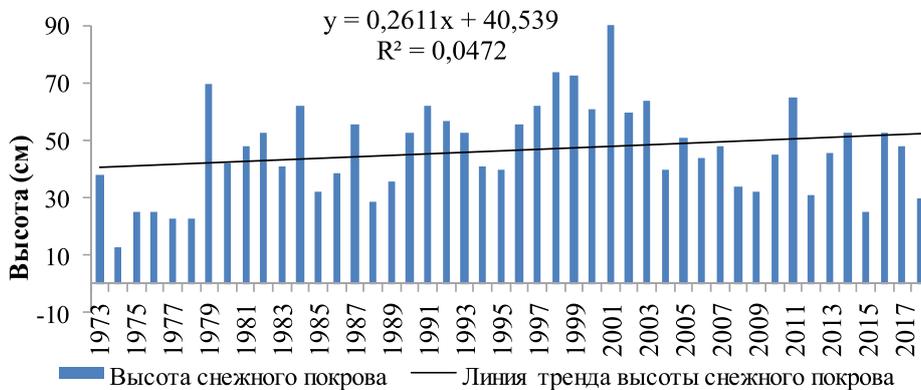


Рис. 4. Высота снежного покрова за 1973–2018 гг.

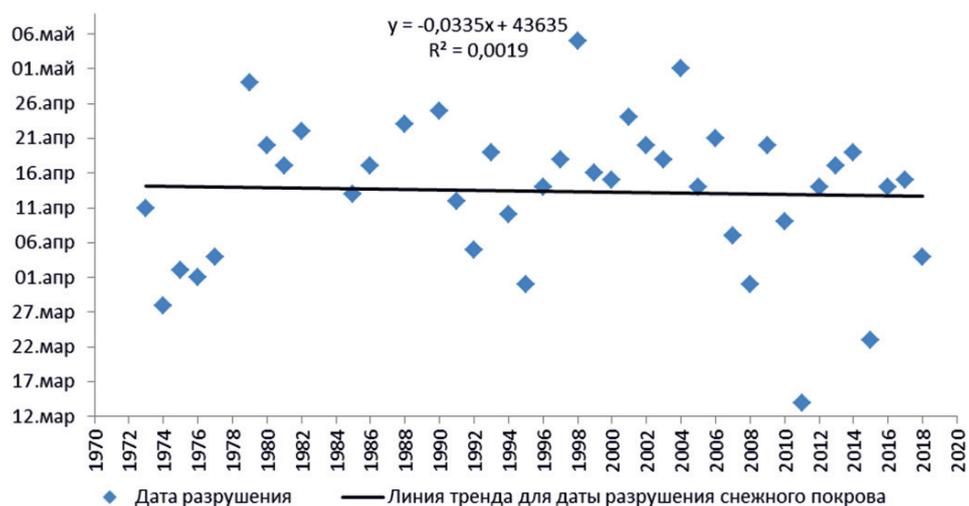


Рис. 5. Даты разрушения снежного покрова в 1973–2018 гг.

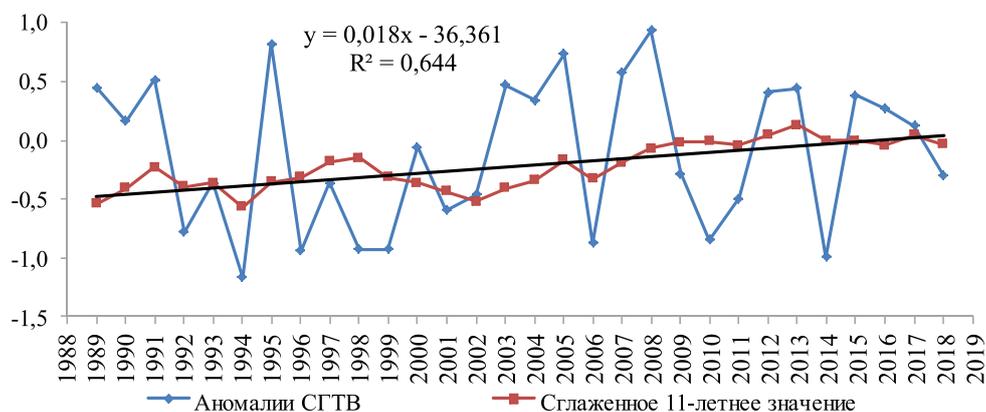


Рис. 6. Изменения аномалий СГТВ за 1989–2018 гг.

Таблица 3

Коэффициент наклона линейного тренда (КНЛТ) средней месячной температуры воздуха и степень достоверности аппроксимации на изучаемой территории за 1989–2018 и 2000–2018 гг. ($^{\circ}\text{C}/10$ лет)

| Месяц | КНЛТ ₁₉₈₉₋₂₀₁₈ | R ² ₁₉₈₉₋₂₀₁₈ | КНЛТ ₂₀₀₀₋₂₀₁₈ | R ² ₂₀₀₀₋₂₀₁₈ |
|----------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Январь | -0,08 | 0,04 | -1,69 | 0,65 |
| Февраль | -0,21 | 0,07 | -0,99 | 0,43 |
| Март | 0,15 | 0,12 | 0,00 | – |
| Апрель | -0,35 | 0,30 | -0,30 | 0,11 |
| Май | 0,46 | 0,58 | 0,75 | 0,66 |
| Июнь | -0,56 | 0,23 | 0,35 | 0,09 |
| Июль | -0,19 | 0,15 | 0,40 | 0,45 |
| Август | 0,34 | 0,39 | 0,93 | 0,79 |
| Сентябрь | 0,34 | 0,46 | 0,58 | 0,54 |
| Октябрь | 0,45 | 0,53 | 0,14 | 0,04 |
| Ноябрь | 1,32 | 0,58 | 2,53 | 0,79 |
| Декабрь | 0,33 | 0,15 | 0,87 | 0,41 |

Для оценки изменения метеорологических показателей необходимо сравнить современные данные со значениями базового тридцатилетнего периода. Для оценки изменений климата ВМО рекомендует использовать официальный базовый климатический период 1961–1990 гг. или любой не менее чем тридцатилетний период [15]. В качестве современного был принят последний полный тридцатилетний ряд данных с 1989 по 2018 г. Анализ его среднемесячных и среднегодовых температур воздуха показывает некоторое повышение температур зимних месяцев и понижение температур летних месяцев по сравнению с базовым периодом. СГТВ на этих тридцатилетних отрезках неизменна и составляет +1,8 °С. Для более точной оценки различий между СГТВ современного и базового периодов были рассчитаны значения отклонений последних тридцати лет от климатической нормы (рис. 6). Несмотря на то что положительные отклонения выявлены менее чем в половине случаев, сглаженные значения демонстрируют устойчивый рост за последние 16 лет.

Сила и направленность тенденций к изменению среднемесячных температур воздуха в современный период может быть определена по угловым коэффициентам линейного тренда (табл. 3).

Заключение

Анализ имеющихся метеорологических данных позволяет сделать вывод об устойчивых тенденциях их изменения на исследуемой территории. Для северной части Среднего Урала, как и для России в целом, свойственно усиление аномалий среднегодовой температуры воздуха, а период после 1970 г. характеризуется наиболее интенсивным потеплением и уменьшением количества отрицательных отклонений. Увеличение годовой суммы осадков также сопоставимо с данными, осредненными для территории России. В последние десятилетия чаще встречаются аномально влажные годы. Мощность осадков холодного периода увеличивается, а полное его разрушение происходит раньше. В последние десятилетия чаще встречается аномально раннее разрушение постоянного снежного покрова.

Список литературы / References

1. Мустафина А.Б. Изменения основных климатических показателей на территории Республики Татарстан за пери-

од 1966–2013 гг. // Географический вестник. 2017. № 2(41). С. 99–108. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-2-99-108.

Mustafina A.B. Changes of the main climatic indicators in the territory of the Republic of Tatarstan during 1966–2013 // Geographical bulletin. 2017. № 2(41). P. 99–108 (in Russian).

2. Миненкова В.В. Современные климатические изменения и их возможные последствия для рекреационного использования горных теплоумеренных колхидских ландшафтов Российского Кавказа // Известия ДГПУ. Естественные и точные науки. 2017. Т. 11. № 2. С. 88–96.

Minenkova V.V. Modern Climate Changes and Their Possible Consequences for Recreational Use of Mountains Warm-moderate Colchian Landscapes of the Russian Caucasus // Izvestiya DGPU. Yestestvennyye i tochnyye nauki. 2017. Vol. 11. № 2. P. 88–96 (in Russian).

3. Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Шерстюков Б.Г., Наумов Э.П. Мониторинг современных изменений климата Среднего Поволжья // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2010. Т. 152. № 3. С. 251–260.

Perevedentsev Y.P., Shantalinskij K.M., Sherstjukov B.G., Naumov Je.P. Monitoring of Modern Climate Changes of the Average Volga Region // Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki. 2010. Vol. 152. № 3. P. 251–260 (in Russian).

4. Литвинова О.С., Гуляева Н.В. Анализ временных рядов осадков Обь-Иртышского междуречья в XX–начале XXI вв. // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2010. № 1 (1). С. 45–54.

Litvinova O.S., Gulyaeva N.V. The analysis of time numbers of deposits Ob-Irtysh interfluves in XX – beginning XXI centuries // Environmental dynamics and global climate change. 2010. Vol. 1. № 1. P. 45–54 (in Russian).

5. Ушаков М.В. Современные изменения термического режима вегетационного и зимнего периодов на Чукотке // Географический вестник. 2017. № 2 (41). С. 81–91. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-2-81-91.

Ushakov M.V. Modern changes of thermal regime of the vegetation and winter periods in Chukotka // Geographical bulletin. 2017. № 2(41). P. 81–91 (in Russian).

6. Романец А.А., Еговцева Р.Н., Жукова Л.А. Климат Нижнего Тагила / под ред. Ц.А. Швер. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 135 с.

Romanec A.A., Yegovceva R.N., Zhukova L.A. Climate of Nizhny Tagil / edited by C.A. SHver, L.: Gidrometeoizdat, 1984. 135 p. (in Russian).

7. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД) [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.ru/it/178-aisori/> (дата обращения: 03.02.2020).

Russian Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center (RIHM-WDC) [Electronic resource]. URL: <http://meteo.ru/it/178-aisori/> (date of access: 03.02.2020) (in Russian).

8. Научно-прикладной справочник по климату СССР / под ред. З.Н. Пильникова. Л.: Гидрометеоздат, 1990. 557 с.

Scientific-applied reference on the climate of the USSR / edited by Z.N. Pil'nikov. L.: Gidrometeoizdat, 1990. 557 p. (in Russian).

9. Изменения климата 2010 год (декабрь 2009 – ноябрь 2010). Обзор состояния и тенденций изменения климата России. М., 2011. 38 с.

Climate change 2010 (December 2009 – November 2010). Overview of the status and trends of climate change in Russia. M., 2011. 38 p. (in Russian).

10. Изменения климата 2012 год (декабрь 2011 – ноябрь 2012). Обзор состояния и тенденций изменения климата России. М., 2013. 39 с.

Climate change 2012 (December 2011 – November 2012). Overview of the status and trends of climate change in Russia. M., 2013. 39 p. (in Russian).

11. Изменения климата 2016 год (декабрь 2015 – ноябрь 2016). Обзор состояния и тенденций изменения климата России. М., 2017. 42 с.

Climate change 2016 (December 2015 – November 2015). Overview of the status and trends of climate change in Russia. M., 2017. 42 p. (in Russian).

12. Climatic Research Unit. [Electronic resource]. URL: <http://www.cru.uea.ac.uk/data> (date of access: 03.02.2020).

13. Чертко Н.К., Карпиченко А.А. Математические методы в географии. Минск: Издательский центр БГУ, 2008. 202 с.

Chertko N.K., Karpichenko A.A. Mathematical Methods in Geography. Minsk: Izdatel'skiy tsentr BGU, 2008. 202 p.

14. Гурьевских О.Ю., Капустин В.Г., Скок Н.В., Янцер О.В. Физико-географическое районирование и ланд-

шафты Свердловской области / под ред. О.Ю. Гурьевских. Екатеринбург: ФГБОУ ВО УГПУ, 2016. 280 с.

Gur'evskih O.Yu., Kapustin V.G., Skok N.V., Yancer O.V. Physical-geographical zoning and landscapes of the Sverdlovsk region / edited by O.Yu. Gur'evskih. Ekaterinburg: FGBOU VO UGPU, 2016. 280 p. (in Russian).

15. Новый двухуровневый подход к «климатическим нормам» // Гидрометцентр России. [Электронный ресурс]. URL: <https://meteoinfo.ru/news/1-2009-10-01-09-03-06/11151-03062015-1-r>. (дата обращения: 03.02.2020).

A new two-tier approach to «climate standards» // Hydrometcenter of Russia. [Electronic resource]. URL: <https://meteoinfo.ru/news/1-2009-10-01-09-03-06/11151-03062015-1-r>. (date of access: 03.02.2020) (in Russian).