

Метеорология

Иванова А.А., Слагода Е.А.

Сведения об авторе

Рита Галимьяновна Галимова

старший преподаватель кафедры
гидрометеорологии и геоэкологии, Башкирский
государственный университет;
450076, Россия, г. Уфа, ул. З. Валиди, д. 32

e-mail: galim-rita@yandex.ru

About the author

Rita G. Galimova

Senior Lecturer, Department of Hydrometeorology
and Geoecology, Bashkir State University;
32, Z. Validi, Ufa, 450076, Russia

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Галимова Р.Г. Современный климатический режим атмосферных осадков на территории Республики Башкортостан // Географический вестник = Geographical bulletin. 2020. №2(53). С. 111–119. Doi 10.17072/2079-7877-2020-2-111-119.

Please cite this article in English as:

Galimova R.G. Modern climatic regime of precipitation in the territory of the Republic of Bashkortostan // Geographical bulletin. 2020. №2(53). P. 111–119. doi 10.17072/2079-7877-2020-2-111-119.

УДК 551.582

DOI: 10.17072/2079-7877-2020-2-119-129

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ****Анна Андреевна Иванова**ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4062-3491>, Author ID: 869477

e-mail: ananivanova@yahoo.com

Институт Криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюмень

Елена Адольфовна СлагодаORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7674-1081>, Author ID: 65065,

Scopus ID: 6506254952

e-mail: eslagoda@ikz.ru

Институт Криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюмень

Для уточнения регионального изменения климата севера Западной Сибири составлены уточненные многолетние ряды средних значений климатических параметров, входящих в уравнение радиационного баланса за теплое и холодное полугодия. Исходными данными были срочные ряды измеренных с 1966 по 2017 г. значений суммарной солнечной радиации, температуры воздуха и поверхности, облачности и парциального давления водяного пара. Построены поверхности пространственного распределения перечисленных климатических параметров и радиационного баланса на севере Западной Сибири (64°–74° с.ш. и 64°–88° в.д.) на сетке 1×1°. Основные расчёты проведены с помощью программы Mathcad, визуализация данных реализована в программе Qgis. В теплый период климатические параметры равномерно увеличиваются с севера на юг. В холодный период расчетные параметры в регионе меняются неравномерно. Суммарная радиация, облачность и радиационный баланс уменьшаются с севера на юг; температуры воздуха и поверхности, парциальное давление водяного пара – с запада на восток. Результаты моделирования соответствуют современным характеристикам климата на севере Западной Сибири.

Ключевые слова: климат, климатические параметры, температура воздуха, солнечная радиация, Западная Сибирь.



Метеорология
Иванова А.А., Слагода Е.А.

MODELING OF SPATIAL DISTRIBUTION OF CLIMATIC PARAMETERS IN THE NORTH OF WESTERN SIBERIA

Anna A. Ivanova

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4062-3491>, Author ID: 869477

e-mail: ananivanova@yahoo.com

Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre, Siberian Branch of the RAS, Tyumen

Elena A. Slagoda

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7674-1081>, Author ID: 65065, Scopus ID: 6506254952

e-mail: eslagoda@ikz.ru

Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre, Siberian Branch of the RAS, Tyumen

Updated long-term series of average values of climatic parameters included in the equation of radiation balance were compiled for the warm and cold half-year periods to clarify the regional climate change in the north of Western Siberia. The initial data were time series of the values measured from 1966 to 2017 for the following parameters: total solar radiation, air and surface temperatures, cloudiness, and elasticity of water vapor. Surfaces of the spatial distribution of the listed climatic parameters and radiation balance in the north of Western Siberia (64° – 74° N and 64° – 88° E) were constructed on a $1 \times 1^{\circ}$ grid. The main calculations were performed using the Mathcad program; data visualization was implemented in the QGIS program. Climatic parameters increase uniformly from north to south in the warm period. The calculated parameters vary unevenly in the region in the cold period. Total radiation, cloud cover, and radiation balance decrease from north to south; air and surface temperatures and water vapor elasticity – from west to east. The modeling results correspond to the current climate characteristics in the north of Western Siberia.

К e y w o r d s : climate, climatic parameters, air temperature, solar radiation, Western Siberia.

Введение

Прогноз климатических изменений и их влияния на геоэкологические условия является одной из актуальных проблем северных регионов [1; 17]. При моделировании глобального климата одни ученые прогнозируют непрерывное развитие потепления и оттаивание части многолетнемерзлых пород [18], а другие отмечают паузу в потеплении [4; 11]. Прогноз регионального климата, позволяющий оценить реакцию мерзлоты с большей точностью, важен для проектирования зданий [14] и эффективного функционирования добывающих предприятий [2].

Основными индикаторами состояния мерзлоты являются температура воздуха и температура поверхности, зависящие, прежде всего, от поступления солнечного тепла, которое может быть рассчитано на верхней границе атмосферы [13] и измерено на поверхности Земли с помощью актинометрических приборов. Для арктической зоны Западной Сибири актинометрические данные немногочисленны, в открытом доступе находятся данные станций Салехард и Тарко-Сале до 1980 г. В связи с этим необходимо учитывать радиационные данные сопредельного региона Восточной Сибири – метеостанций Диксон (до 1989 г.) и Туруханск (до 1996 г.).

Математическая зависимость температуры воздуха, температуры поверхности и солнечной радиации выражается уравнением радиационного баланса [3]. В уравнение также входят облачность и парциальное давление водяного пара. Целью настоящей статьи являются расчет многолетних средних значений метеорологических и актинометрических параметров, входящих в уравнение радиационного баланса, и моделирование их пространственного распределения на севере Западной Сибири.

Метеорология
Иванова А.А., Слагода Е.А.

Материалы и методы исследования

Формирование теплового режима поверхности происходит за счет взаимодействия атмосферных процессов, но, прежде всего, за счет теплооборота [15]. Этот процесс описывается уравнением теплового баланса, одним из элементов которого является радиационный баланс поверхности B . Уравнение радиационного баланса отражает связь между приходящей от Солнца (B_1) и излучаемой земной поверхностью радиации (B_2):

$$B = B_1 + B_2 = Q \cdot (1 - A) - E_e, \quad (1)$$

где Q – суммарная радиация (МДж/м²), A – альбедо поверхности (в долях от единицы), E_e – эффективное излучение подстилающей поверхности. Существуют разные способы для расчета эффективного излучения подстилающей поверхности. В настоящей работе использована полуэмпирическая формула Д. Брента [3]:

$$E_e = \delta \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot (a - b\sqrt{e}), \quad (2)$$

где T – абсолютная температура воздуха (К), e – парциальное давление водяного пара (гПа), $\delta = 0,95$ – относительная излучательная способность поверхности, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) – постоянная Стефана-Больцмана, $a = 0,39$, $b = 0,058$ – эмпирические константы [3]. Кроме того, необходимо учесть влияние облачности и разности температур подстилающей поверхности и воздуха [3]:

$$E_e = E_0 \cdot (1 - c \cdot n^m) + 4 \cdot \delta \cdot \sigma \cdot T^3 (T_0 - T), \quad (3)$$

где T_0 – абсолютная температура поверхности (К), E_0 – эффективное излучение при ясном небе, n – облачность в долях от единицы, c – коэффициент влияния облачности на эффективное излучение, m – степень функции облачности, которая изменяется от 1 до 2.

Исходя из формул (1)–(3) для расчета радиационного баланса необходимы данные по следующим гидрометеорологическим параметрам: суммарной солнечной радиации Q , температурам воздуха T и поверхности T_0 , облачности n и парциального давления водяного пара e [6].

Таблица 1

Список гидрометеорологических станций севера Западной Сибири с открытыми данными [12]
List of hydrometeorological stations with open data in the north of Western Siberia [12]

Индекс ВМО	Наименование станции	Широта φ° , с.ш.	Долгота ψ° , в.д.	Высота у.м., м
20667	Им.М.В.Попова	73,3	70,1	4
20674	Диксон	73,5	80,4	42
23032	Марресаля	69,7	66,8	24
23058	Антипаюга	69,1	76,9	2
23074	Дудинка	69,4	86,2	14
23242	Новый Порт	67,7	72,9	11
23256	Газовское	67,5	78,7	26
23274	Игарка	67,5	86,6	20
23330	Салехард	66,5	66,7	15
23345	Ньда	66,6	72,9	5
23365	Сидоровск	66,6	82,3	34
23445	Надым	65,5	72,7	14
23463	Янов Стан	65,9	84,3	41
23472	Туруханск	65,8	87,9	38
23552	Тарко-Сале	64,9	77,8	26

Данные по суммарной радиации Q на сайте Мирового центра радиационных данных в виде суточных сумм в открытом доступе [8] для севера Западной Сибири отсутствуют, поэтому

Метеорология
Иванова А.А., Слагода Е.А.

использованы измерения сопредельных станций Диксон и Туруханск. Дополнительно использовались многолетние данные метеостанций Салехард и Тарко-Сале со справочника по климату СССР 1980 г. [9; 10]. Значения температуры воздуха, поверхности, облачности и парциального давления водяного пара для севера Западной и Восточной Сибири (табл. 1) доступны на сайте ВНИИГМИ-МЦД – Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных [12].

Пространственное распределение построено с помощью аппроксимации климатических данных на географическую сетку. Учитывая малое количество данных по суммарной радиации (4 метеостанции), для аппроксимации выбраны полиномиальные функции двух переменных [19]:

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^p a_i \cdot x^{j_1} \cdot y^{j_2}, j_1 + j_2 \leq r, \quad (4)$$

где переменные x и y со степенями j_1 и j_2 – это широта и долгота населенного пункта, $a_i..a_p$ – коэффициенты полинома, а r – степень многочлена.

Для оценки погрешности построенной поверхности дополнительно были рассчитаны среднеквадратичные отклонения

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^q |f_0(x_k, y_k) - f(x_k, y_k)|}{q}}, \quad (5)$$

где $f_0(x_k, y_k)$ – значение определенного метеорологического параметра на метеостанции с координатами x_k и y_k , $f(x_k, y_k)$ – значение аппроксимирующей функции на метеостанции с координатами x_k, y_k , а q – число метеостанций.

Результаты и их обсуждение

Для вычислений были разработаны четыре документа в программе Mathcad:

- 1) PreData.mcd – обработка начальных данных (восстановление пропущенных сроков и замена пропусков наблюдений единым значением);
- 2) MetParAn.mcd – вычисление многолетних средних значений и анализ межгодового изменения гидрометеорологических параметров [7];
- 3) CalcRadBlns.mcd – вычисление радиационного баланса на заданной метеостанции;
- 4) SpatApprx.mcd – аппроксимация гидрометеорологических данных на географическую сетку.

Для метеостанций севера Западной Сибири (см. табл. 1) были рассчитаны средние многолетние значения климатических параметров для теплого и холодного полугодий (табл. 2). Границы теплого полугодия определены с 1 апреля по 30 сентября, холодного – с 1 октября по 31 марта.

Для большинства населенных пунктов величины суммарной радиации были аппроксимированы из-за отсутствия данных. Эти значения отмечены (*).

По вычисленным многолетним данным (табл. 2) была проведена интерполяция гидрометеорологических параметров на севере Западной Сибири (область между 64° и 74° с.ш. и 64° и 88) за теплое и холодное полугодия. На рис. 1 и 2. изображено пространственное распределение климатических параметров: температуры воздуха, температуры поверхности, парциального давления водяного пара, облачности, суммарной радиации и радиационного баланса за теплое и холодное полугодия.

Решение построено в геоинформационной системе с открытым доступом Qgis в прямоугольной системе координат WGS 84/ Pseudo-Mercator.

Метеорология
Иванова А.А., Слагода Е.А.

Таблица 2

Многолетние средние значения гидрометеорологических параметров климата за теплое ($Q_s, T_s, T_{0s}, n_s, e_s$) и холодное полугодия ($Q_w, T_w, T_{0w}, n_w, e_w$) за 1964–2017 гг.
Long-term average values of hydrometeorological climate parameters for the warm ($Q_s, T_s, T_{0s}, n_s, e_s$) and cold half-year periods ($Q_w, T_w, T_{0w}, n_w, e_w$) for 1964–2017

№	$Q, \text{МДж}/\text{м}^2$		$T, ^\circ\text{C}$		$T_0, ^\circ\text{C}$		$n, \text{балл}$		$e, \text{зПа}$	
	Q_s	Q_w	T_s	T_w	T_{0s}	T_{0w}	n_s	n_w	e_s	e_w
20667	2554,0*	226,5*	-2,1	-18,6	-1,4	-19,4	7,8	6,2	5,7	1,8
20674	2504,7	218,1	-2,1	-20,4	-1,5	-21,5	8,4	6,6	5,6	1,5
23032	2673,3*	335,1*	0,2	-16,2	1,3	-16,7	7,6	6,4	6,5	2,2
23058	2667,1*	349,4*	1,6	-20,5	3,2	-20,7	7,2	6,2	7,0	1,6
23074	2631,4*	335,6*	2,4	-22,1	3,2	-22,8	7,3	6,9	6,9	1,4
23242	2724,1*	392,8*	2,3	-18,6	2,7	-18,9	7,3	6,4	7,3	1,9
23256	2715,1*	396,3*	3,3	-20,0	4,1	-20,1	7,4	6,9	7,6	1,7
23274	2693,9*	392,7*	5,0	-21,1	5,7	-22,5	7,2	7,4	7,7	1,5
23330	2804,0	426,0	5,1	-17,2	5,9	-18,1	7,8	7,9	7,8	2,0
23345	2759,6*	424,8*	3,9	-17,9	4,0	-18,5	7,4	6,8	7,8	1,9
23365	2734,1*	420,5*	4,3	-20,1	4,4	-21,0	7,1	6,7	7,4	1,7
23445	2797,4*	458,4*	6,1	-16,9	7,4	-18,3	7,6	7,1	8,0	2,1
23463	2749,2*	437,9*	5,5	-20,5	5,5	-22,7	6,9	6,5	8,0	1,6
23472	2774,4	436,7	6,7	-19,2	7,4	-20,9	8,0	8,3	8,0	1,7
23552	2756,0	481,0	6,3	-17,8	7,3	-18,9	7,5	7,2	8,2	2,0
δ	65,3	20,8	1,5	2,4	1,5	2,5	0,4	0,6	0,45	0,28

Примечание: № – синоптический номер метеостанции; Q – суммарная радиация ($\text{МДж}/\text{м}^2$); T – температура воздуха ($^\circ\text{C}$); T_0 – температура подстилающей поверхности ($^\circ\text{C}$); n – облачность (балл); e – парциальное давление водяного пара (зПа); δ – многолетнее среднеквадратичное отклонение (* – аппроксимированные значения)

Метеорологические параметры: температура воздуха (рис. 1а, г), температура поверхности (рис. 1б, д) и парциальное давление водяного пара (рис. 1в, е) имеют разное пространственное распределение в теплый и холодный периоды. В течение теплого периода на севере Западной Сибири наблюдается увеличение перечисленных метеорологических параметров (рис. 1а, б, в) с севера на юг с установлением широтной зональности. Во время холодного периода температура воздуха T_w , температура поверхности T_{0w} и парциальное давление водяного пара e_w уменьшаются с запада на восток (рис. 1г, д, е), а их минимальные значения расположены на северо-востоке региона.

Согласно расчетам суммы солнечной радиации имеют схожее пространственное распределение за холодный и теплый периоды (рис. 2 а, г). Суммарная радиация увеличивается с севера на юг с минимальным значением на северо-востоке и уклоном на юго-запад. Наибольший уклон имеют суммы радиации теплого периода Q_s (рис. 2 а).

Облачность имеет радиальное распределение с минимальным значением на Тазовском полуострове в теплый период (рис. 2 б) и на Гыданском полуострове в холодный (рис. 2 д).

Пространственное распределение всех климатических параметров определяет распределение сумм радиационного баланса (рис. 2в, е). По расчетным данным радиационный баланс теплого полугодия B_s имеет характер распределения температуры воздуха T_s , возрастая с севера на юг (рис. 2в). В холодный период пространственное распределение радиационного баланса B_w определяется облачностью n_w .

Метеорология
Иванова А.А., Слагода Е.А.

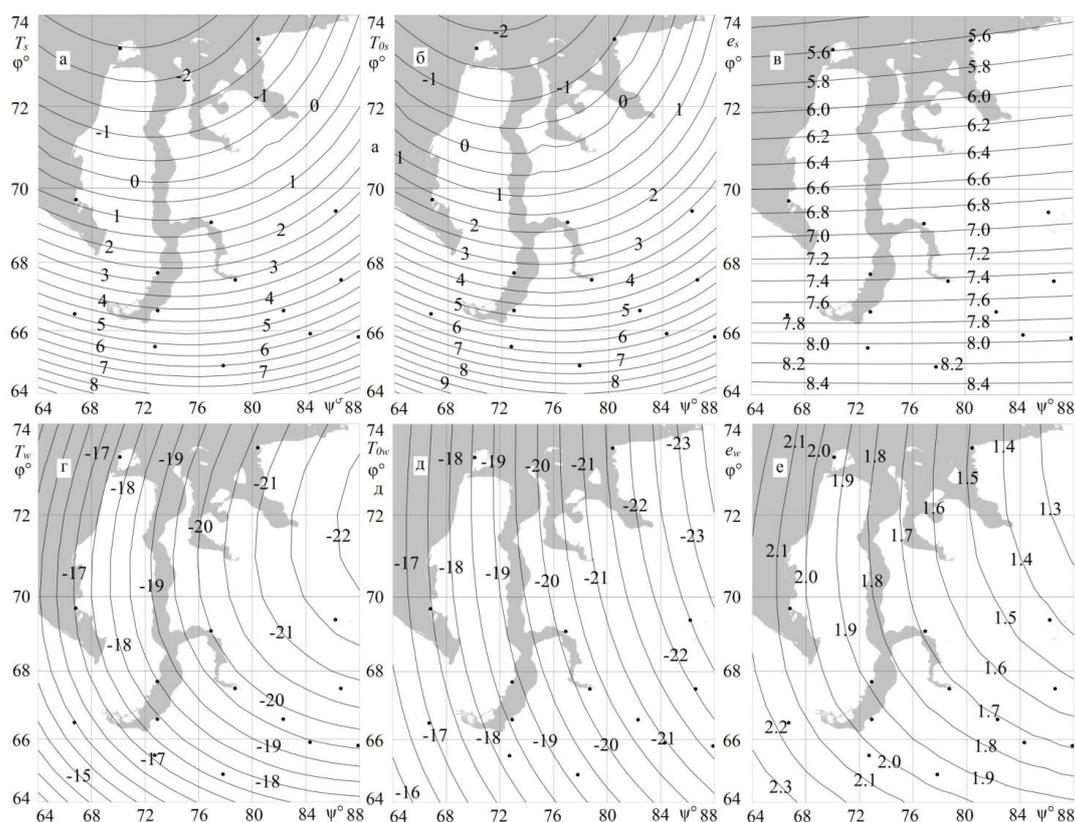


Рис. 1. Пространственное распределение многолетних осредненных значений гидрометеорологических параметров на севере Западной Сибири (φ° – 64° – 74° с.ш., ψ° – 64° – 88° в.д.) за теплое (а, б, в) и холодное (г, д, е) полугодия. Цифрами на изолиниях обозначены: а, г – температура воздуха T ($^{\circ}\text{C}$); б, д – температура поверхности T_0 ($^{\circ}\text{C}$); в, е – парциальное давление водяного пара e в гПа, точками отмечены гидрометеорологические станции (табл. 1)

Fig. 1. The spatial distribution of long-term averaged values of hydrometeorological parameters in the north of Western Siberia (φ° – 64° – 74° N and ψ° – 64° – 88° E) for warm (a, b, c) and cold (d, e, f) half-year periods. The numbers on the contours indicate: a, d – air temperature T , in $^{\circ}\text{C}$; b, e – surface temperature T_0 , in $^{\circ}\text{C}$; c, f – partial pressure of water vapor e , in hPa, points indicate hydrometeorological stations (Table 1)

Для оценки полученных распределений были рассчитаны межгодовые отклонения от среднего (табл. 2) и пространственные (табл. 3) среднеквадратичные отклонения климатических параметров по формуле (5). Пространственные отклонения, определяющие погрешность построенной поверхности, получены в 2–4 раза меньше межгодовых отклонений от многолетнего среднего.

Радиационные суммы имеют наименьшие среднеквадратичные отклонения в процентах как межгодовые – 2,4 и 5,8%, так пространственные – 1,1 и 1,6% за теплый и холодный периоды соответственно. Температуры воздуха и поверхности, облачность и давление водяного пара имеют отклонения в диапазонах 5–15% (табл. 2) и 2–4% (табл. 3) для холодного периода и немного большие значения для теплого.

В качестве подтверждения полученных результатов аналогичные сеточные данные (4) были рассчитаны для многолетних данных из справочника по климату СССР 1980 г. В работе использованы сборники по Тюменской области [9] и Красноярскому краю [10] с расположением метеостанций до 70° с.ш. Для охвата северной территории были рассчитаны многолетние данные с начала наблюдений до 1980 г. для северных метеостанций Диксон, им. М.В.Попова (о. Белый) и Марресалья [12]. Полученные поверхности по температуре воздуха, температуре поверхности, облачности и парциальному давлению водяного пара получились аналогично рис. 2, с увеличением максимального значения в пределах единицы.

Метеорология
Иванова А.А., Слагода Е.А.

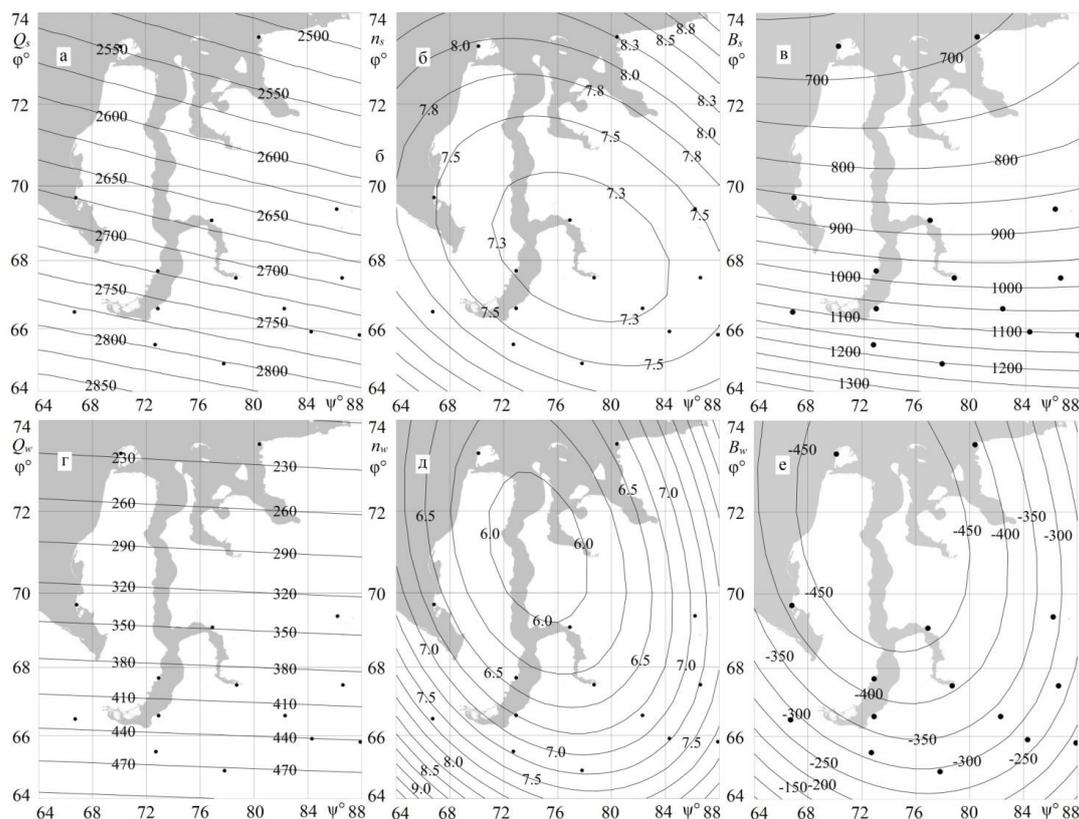


Рис. 2. Пространственное распределение многолетних осредненных значений гидрометеорологических параметров на севере Западной Сибири ($\varphi^\circ - 64^\circ - 74^\circ$ с.ш., $\psi^\circ - 64^\circ - 88^\circ$ в.д.) за теплое (а, б, в) и холодное (г, д, е) полугодия. Цифрами на изолиниях обозначены: а, г – суммарная радиация Q ($\text{МДж}/\text{м}^2$); б, д – облачность n в баллах; в, е – радиационный баланс B ($\text{МДж}/\text{м}^2$)

Fig. 2. The spatial distribution of long-term averaged values of hydrometeorological parameters in the north of Western Siberia ($\varphi^\circ - 64^\circ - 74^\circ$ N and $\psi^\circ - 64^\circ - 88^\circ$ E) for the warm (a, b, c) and cold (d, e, f) half-year periods. The numbers on the contours indicate: a, d – total radiation Q , in MJ/m^2 ; b, e – cloudiness n , in points; c, f – radiation balance B , in MJ/m^2

Таблица 3

Среднеквадратичное отклонение пространственного распределения гидрометеорологических параметров по северу Западной Сибири
The standard deviation of the spatial distribution of hydrometeorological parameters in the north of Western Siberia

δ	$Q, \text{МДж}/\text{м}^2$	$T, ^\circ\text{C}$	$T_0, ^\circ\text{C}$	$n, \text{баллы}$	$e, \text{гПа}$
δ_s	29,5	0,33	0,60	0,21	0,13
δ_w	5,61	0,51	0,65	0,28	0,06

Примечание: δ_s – среднеквадратичные отклонения в теплый, δ_w – в холодный период, остальные обозначения см. табл. 2

В качестве сравнения была рассчитана разница между многолетними данными параметров 1980 г. (M_{0s} и M_{0w}) и рассчитанными в работе значениями этих же параметров для теплого M_{cs} и холодного M_{cw} полугодий (табл. 4):

$$\Delta M_s = M_{cs} - M_{0s}; \Delta M_w = M_{cw} - M_{0w}. \quad (6)$$

Так, значения температуры воздуха в среднем возросли для всех метеостанций за теплое полугодие на $\Delta T_s = 0,6^\circ$, за холодное – $\Delta T_w = 0,7^\circ$ по сравнению с 1980 г., причем наибольшее увеличение наблюдается для южных метеостанций. По температуре поверхности также виден рост для большинства метеостанций, с увеличением до $\Delta T_w = 0,9^\circ$ в холодный период.

Метеорология
Иванова А.А., Слагода Е.А.

Многолетние изменения облачности для всех метеостанций составляют меньше балла, в основном наблюдается увеличение в пределах 0,5 балла кроме Тазовского и Сидоровска ($\Delta n_s = -0,1$ балла). Парциальное давление также увеличилось в интервале от 0,1 до 0,8 гПа по сравнению с 1980 г.

Отклонения для радиационного баланса ΔB_s и ΔB_w (6) приведены в табл. 5. Разница для Салехарда составляет $\Delta B_s = 43$ и $\Delta B_w = 22$ МДж/м² за теплое и холодное полугодия, что не превышает межгодовое среднеквадратичное отклонение радиационного баланса из справочника 1980 г., – 210 и 70 МДж/м² соответственно [9].

Таблица 4

Разница между многолетними средними значениями метеорологических параметров из сборника 1980 г.

[9; 10] и рассчитанными в работе за 1966–2017 гг. за теплое и холодное полугодия

The difference between long-term average values of meteorological parameters from the 1980 digest [9; 10] and those calculated in the work for 1966-2017 for the warm and cold half-year periods

№ n/n	$\Delta T, ^\circ C$		$T0, ^\circ C$		n, баллы		e, гПа	
	ΔT_s	ΔT_w	ΔT_{0s}	ΔT_{0w}	Δn_s	Δn_w	Δe_s	Δe_w
23074	0,5	0,0	0,2	0,7	0,0	0,1	0,1	0,1
23256	0,5	0,9	0,8	1,1	-0,1	0,4	0,3	0,2
23274	0,4	0,2	0,5	1,0	0,2	0,4	0,4	0,1
23330	1,1	0,8	0,9	1,1	0,0	0,2	0,2	0,1
23345	0,4	0,8	0,2	0,5	0,0	0,3	0,3	0,1
23365	0,1	0,9	-0,3	0,5	-0,1	0,3	0,2	0,2
23445	0,9	1,2	1,2	1,4	0,1	0,3	0,4	0,3
23472	0,9	0,7	0,7	0,9	0,5	0,8	0,2	0,1
23552	0,5	0,9	0,6	1,1	0,1	0,3	0,8	0,6

Примечание: отклонения рассчитаны по формуле (6), обозначения см. табл. 2

Таблица 5.

Сравнение отклонений средних многолетних значений радиационного баланса теплое ΔB_s и холодное ΔB_w полугодий (МДж/м²) от значений из справочника 1980 г. [9]

Comparison of deviations of the long-term radiation balance averages for warm ΔB_s and cold ΔB_w half-year periods from the 1980 book of reference [9], in MJ/m²

№ n/n	ΔB	Гавилова, 1963 [5]	Шполянская, 1981 [16]	Расчетные значения
23330 Салехард	ΔB_s	42	221	43
	ΔB_w	292	30	22
23552 Тарко-Сале	ΔB_s	–	226	2
	ΔB_w	–	46	40

Для сравнения в табл. 5 приведены данные из других работ. Наиболее известной работой по расчету радиационного баланса в Арктике является «Радиационный климат Арктики» Гавриловой (1963) [5]. Приведенные значения для Салехарда значительно отличаются для холодного полугодия по сравнению со справочником [9]. По данным Шполянской (1981) [16], напротив, отличаются данные для теплое полугодия.

В ряде экспериментов выяснилось, что математическая модель (1) наиболее чувствительна к выбору коэффициента влияния облачности на эффективное излучение s . Согласованность полученных в настоящей работе значений обусловлена определением разных коэффициентов не только по широте [3], но и для теплое (c_s) и холодного (c_w) полугодий.

Метеорология
Иванова А.А., Слагода Е.А.

Выводы

Рассчитанные многолетние средние значения гидрометеорологических параметров за период с 1966 по 2017 г. увеличились по сравнению со значениями из справочника по климату СССР 1980 г. [9; 10]. Температура воздуха и поверхности в среднем увеличились на 0,7°, облачность – на 0,2 балла, а парциальное давление – на 0,3 гПа. В большинстве случаев наибольшие отличия наблюдаются в холодный период.

По рассчитанным многолетним средним значениям метеорологических параметров и имеющимся данным по суммарной солнечной радиации построены аппроксимированные поверхности, отражающие их распределение на севере Западной Сибири. Эти распределения согласуются с данными по справочнику [9; 10] и имеют разный характер для теплого и холодного полугодий. Так, большинство климатических параметров равномерно возрастают с уменьшением широты в теплый период и имеют долготную направленность в холодный, с минимальным значением на северо-востоке. Последнее свидетельствует о значительном вкладе континентальности климата и других региональных факторов в формирование климата холодного полугодия на севере Западной Сибири.

Рассчитанные значения радиационного баланса согласуются с имеющимися измеренными данными по справочнику климата СССР для метеостанций Салехард и Тарко-Сале и имеют отклонения в пределах допустимой нормы.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы госзадания Рег.№ НИОКТР АААА-А17-117051850062-6; при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60222 Арктика.

Acknowledgements. The work was carried out in the framework of the topic of state assignment Reg. № R&D АААА-А17-117051850062-6; with the support of the RFBR grant № 18-05-60222 Arctic.

Библиографический список

1. Алексеев Г.В. Проявление и усиление глобального потепления в Арктике // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2015. №1. С. 11–26.
2. Анисимов О.А., Стрелецкий Д.А. Геокриологические риски при таянии многолетнемерзлых грунтов // *Арктика XXI век. Естественные науки*. 2015. №2. С. 60–74.
3. Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1956. 254 с.
4. *Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации*. М.: Росгидромет, 2014. 1009 с.
5. Гаврилова М.К. Радиационный климат Арктики / под ред. М.И. Будыко. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1963. 225 с.
6. Кокорев В.А., Шерстюков А.Б. О метеорологических данных для изучения современных и будущих изменений климата на территории России // *Арктика XXI век. Естественные науки*. 2015. №2. С. 5–23.
7. *Методы климатической обработки метеорологических наблюдений* / под ред. О.А. Дроздова. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1957. 492 с.
8. *Мировой Центр радиационных данных* главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. [Электронный ресурс]. URL: <http://wrdc.mgo.rssi.ru/> (дата обращения: 20.02.2019).
9. *Научно-прикладной справочник по климату СССР*. Сер. 3. Многолетние данные части 1–6. Вып. 17. Омская и Тюменская области. СПб.: Гидрометеиздат, 1998. 702 с.
10. *Научно-прикладной справочник по климату СССР*. Сер. 3. Многолетние данные части 1–6. Вып. 21. Красноярский край, Тувинская АССР. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 623 с.
11. Паромов В.В., Земцов В.А., Копысов С.Г. Климат Западной Сибири в фазу замедления потепления (1986–2015 гг.) и прогнозирование гидроклиматических ресурсов на 2021–2030 гг. // *Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов*. 2017. Т. 328. №1. С. 62–74.
12. *Российский гидрометеорологический портал*: электронная база метеорологических данных международного обмена ВНИИГМИ-МЦД. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meteo.ru> (дата обращения: 18.03.2019).

Метеорология

Иванова А.А., Слагода Е.А.

13. Смутьский И.И. Новые результаты по инсоляции Земли и их корреляция с палеоклиматом Западной Сибири в позднем плейстоцене // Геология и Геофизика. 2016. Т. 57. №7. С. 1393–1407.
14. Стрелецкий Д.А., Шикломанов Н.И., Гребенец В.И. Изменение несущей способности мерзлых грунтов в связи с потеплением климата на севере Западной Сибири // Криосфера Земли. 2012. Т. XVI. №1. С. 22–32.
15. Хромов С.П., Петросяню М.А. Метеорология и климатология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2013. 584 с.
16. Шполянская Н.А. Мерзлая зона литосферы Западной Сибири и тенденции ее развития. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. 166 с.
17. Шполянская Н.А. Вечная мерзлота и глобальные изменения климата. Ижевск: Изд-во АНО Института компьютерных исследований, 2010. 200 с.
18. *Climate Change: 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)). Geneva: IPCC, 2014. 151 p.
19. Stoer J., Bulirsch R., Gautschi W. (Translator), and Witzgall C. (Translator). *Introduction to Numerical Analysis*. Springer, 2002. 746 p.

References

1. Alekseev, G.V. (2015), “The manifestation and intensification of global warming in the Arctic”, *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, no. 1, pp. 11–26.
2. Anisimov, O.A., Streleckij, D.A. (2015), “Geocryological risks during thawing of permafrost soils”, *Arktika XXI vek. Estestvennye nauki*, no. 2, pp. 60–74.
3. Budyko, M.I. (1956), *Teplovoj balans zemnoj poverhnosti* [The heat balance of the earth's surface], Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo, Leningrad, Russia.
4. *Vtoroj ocenochnyj doklad Rosgidrometa ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii* [Second estimative report on climate changes and their consequences in the territory of the Russian Federation] (2014), Roshydromet, Moscow, Russia.
5. Gavrilova, M.K. (1963), *Radiacionnyj klimat Arktiki*, [Arctic radiation climate], in Budyko, M.I. (ed), Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo, Leningrad, Russia.
6. Kokorev, V.A., SHERstyukov, A.B. (2015), “About meteorological data for studying current and future climate changes in Russia”, *Arktika XXI vek. Estestvennye nauki*, no. 2, pp. 5–23.
7. *Metody klimaticheskoy obrabotki meteorologicheskikh nablyudenij* [Climatic processing methods for meteorological observations] (1957), in Drozdov, O.A. (ed), Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo, Leningrad, Russia.
8. *Mirovoj Centr radiacionnyh dannyh glavnoj geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voejkova* [World Center for Radiation Data of the main geophysical observatory. A.I. Voeikova]. Available at: <http://wrdc.mgo.rssi.ru/> (accessed 20 Feb. 2019).
9. *Nauchno-prikladnoj spravochnik po klimatu SSSR seriya 3 Mnogoletnie dannye chasti 1-6 vypusk 17 Omskaya i Tyumenskaya oblasti* [Scientific and Applied Reference on the Climate of the USSR Series 3 Long-Term Data Parts 1-6 Issue 17 Omsk and Tyumen Regions] (1998), Gidrometeoizdat, St. Petersburg, Russia.
10. *Nauchno-prikladnoj spravochnik po klimatu SSSR seriya 3 Mnogoletnie dannye chasti 1-6 vypusk 21 Krasnoyarskij kraj Tuvinskaya ASSR* [Scientific and Applied Reference on the Climate of the USSR Series 3 Long-Term Data Parts 1–6 Issue 21 Krasnoyarsk Territory, Tuva ASSR] (1990), Gidrometeoizdat, St. Petersburg, Russia.
11. Paromov, V.V., Zemcov, V.A., Kopysov, S.G. (2017), “The climate of Western Siberia in the phase of deceleration of warming (1986–2015) and forecasting of hydroclimatic resources for 2021 – 2030”, *Izvestiya TPU. Inzhiniring georesursov*, vol. 328, no. 1, pp. 62–74.
12. *Rossiiskii gidrometeorologicheskii portal: Elektronnaya baza meteorologicheskikh dannykh mezhdunarodnogo obmena VNIIGMTsD* [Russian Hydrometeorological portal: Electronic database of meteorological Data for international exchange RIHMI-WDC World Data Center]. Available at: <http://www.meteo.ru> (accessed 18 March 2019).
13. Smul'skij, I.I. (2016), “New results on Earth insolation and their correlation with the paleoclimate of Western Siberia in the Late Pleistocene”, *Geologiya i Geofizika*, vol. 57, no. 7, pp. 1393–1407.

Метеорология

Иванова А.А., Слагода Е.А.

14. Streleckij, D.A., SHiklomanov, N.I., Grebenec, V.I. (2012), "Change in the bearing capacity of frozen soils due to climate warming in the north of Western Siberia", *Kriosfera Zemli*, vol. XVI, no. 1, pp. 22–32.
15. Hromov, S.P., Petrosyanc, M.A. (2013), *Meteorologiya i klimatologiya* [Meteorology and climatology], MSU, Moscow, Russia.
16. Shpolyanskaya, N.A. (1981), *Merzlaya zona litosfery Zapadnoj Sibiri i tendencii ee razvitiya* [The frozen zone of the lithosphere of Western Siberia and its development trends], MSU, Moscow, Russia.
17. Shpolyanskaya, N.A. (2010), *Vechnaya merzlota i global'nye izmeneniya klimata* [Permafrost and global climate change], ANO Institut komp'yuternyh issledovaniy, Izhevsk, Russia.
18. Climate Change: 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (2014), IPCC, Geneva, Switzerland.
19. Stoer, J., Bulirsch, R., Gautschi, W. (Translator), and Witzgall, C. (Translator) (2002), *Introduction to Numerical Analysis*, Springer, Cham, Switzerland.

Поступила в редакцию: 10.10.2019

Сведение об авторах**Анна Андреевна Иванова**

младший научный сотрудник лаборатории комплексных методов изучения криогенных систем, Институт Криосферы Земли ТЮМНЦ СО РАН; Россия, 625026, г. Тюмень, ул. Малыгина, д. 86

e-mail: ananivanova@yahoo.com

Елена Адольфовна Слагода

доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории комплексных методов изучения криогенных систем, Институт Криосферы Земли ТЮМНЦ СО РАН; Россия, 625026, г. Тюмень, ул. Малыгина, д. 86

e-mail: eslagoda@ikz.ru

About the authors**Anna A. Ivanova**

Researcher, laboratories of complex cryogenic systems, Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre SB RAS; 86, Malygina St., Tyumen, 625026, Russia

Elena A. Slagoda

Doctor Geologo-Mineralogical Sciences, Project Leader, laboratories of complex cryogenic systems, Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre SB RAS; 86, Malygina St., Tyumen, 625026, Russia

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Иванова А.А., Слагода Е.А. Моделирование пространственного распределения климатических параметров на севере Западной Сибири // Географический вестник = Geographical bulletin. 2020. №2(53). С. 119–129. doi 10.17072/2079-7877-2020-2-119-129.

Please cite this article in English as:

Ivanova A.A., Slagoda E.A. Modeling of spatial distribution of climatic parameters in the north of Western Siberia // Geographical bulletin. 2020. №2(53). P. 119–129. doi 10.17072/2079-7877-2020-2-119-129.