

УДК: 551.582(470.325)

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-1-26-271-278

Ю.Г. Чендев¹, М.Г. Лебедева², О.В. Крымская³, М.А. Петина⁴

РЕГИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КЛИМАТИЧЕСКИХ РИСКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ (НА ПРИМЕРЕ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ)

АННОТАЦИЯ

Происходящие климатические изменения требуют количественной оценки воздействия погодных условий на природу и жизнедеятельность населения. Однако до настоящего времени понятие «климатический риск» окончательно не определено, и соответствующая терминология не является общепризнанной. Одним из проявлений климатических изменений является увеличение во многих регионах изменчивости и экстремальности климата. Одновременно с этим, современная статистика свидетельствует о растущем во всём мире ущербе от опасных погодных и климатических явлений.

Наибольшее распространение в климатическом обслуживании получило понятие «индекса уязвимости» (Vulnerability index), отражающего сочетание (со взвешиванием или без) нескольких показателей, которые указывают на потенциальный ущерб, который климатические изменения могут нанести определённому сектору экономики. Основным критерием уязвимости территории с точки зрения метеорологических параметров является экстремальность основных значений: суточной температуры воздуха, суточного количества осадков, максимальной скорости ветра. Для полноценного учёта возможных воздействий экстремальных климатических условий на экономику региона необходима детализация погодно-климатических рисков с учётом всей сети наблюдений, так как возможны существенные различия в количественной оценке.

Полученные среднеобластные значения индексов климатической уязвимости для Белгородской области РФ составляют для зимнего периода 150 баллов, для летнего сезона 330 баллов, что указывает на преобладание экстремальных метеорологических условий в тёплый сезон. Большая часть территории характеризуется относительно низким риском климатических воздействий, за исключением востока и юго-востока области. При этом наиболее уязвимой в климатическом отношении является восточная часть области.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: изменение климата, погодные аномалии, погодные риски, повторяемость экстремальных явлений, статистические распределения

¹ Белгородский государственный университет, ул. Победы, д. 85, 308015, Белгород, Россия; *e-mail:* chendeu@bsu.edu.ru

² Белгородский государственный университет, ул. Победы, д. 85, 308015, г. Белгород, Россия; *e-mail:* lebedeva_m@bsu.edu.ru

³ Белгородский государственный университет, ул. Победы, д. 85, 308015, Белгород, Россия; *e-mail:* krymskaya@bsu.edu.ru

⁴ Белгородский государственный университет, ул. Победы, д. 85, 308015, Белгород, Россия; *e-mail:* petina_m@bsu.edu.ru

Yuri G. Chendev¹, Maria G. Lebedeva², Olga V. Krymskaya³, Maria A. Petina⁴

**REGIONAL ASSESSMENT OF CLIMATE RISKS
USING GIS TECHNOLOGIES
(ON THE EXAMPLE OF THE BELGOROD REGION)**

ABSTRACT

The ongoing climate change requires a quantitative assessment of the impact of weather conditions on the nature and livelihoods of the population. However, to date, the concept of “climate risk” has not been finally defined, and the corresponding terminology is not universally recognized. One manifestation of climate change is an increase in climate variability and extremeness in many regions. At the same time, modern statistics indicate growing worldwide damage from dangerous weather and climate events.

The most widely used in climate services is the concept of “Vulnerability index”, which reflects a combination (with or without weighing) of several indicators that indicate the potential damage that climate change can cause to a particular sector of the economy. development of adaptation measures to ensure sustainable development of territories. The main criterion for the vulnerability of the territory from the point of view of meteorological parameters is the extremeness of the basic values: daily air temperature, daily precipitation, maximum wind speed. To fully take into account the possible impacts of extreme climatic conditions on the region’s economy, it is necessary to detail the weather and climate risks taking into account the entire observation network, since significant differences in quantitative assessment are possible.

The obtained average regional values of the climate vulnerability indices for the Belgorod Region of the Russian Federation provide 150 points for the winter period, 330 points for the summer season, which indicates the prevalence of extreme weather conditions in the warm season. Most of the territory has a relative influence on climatic phenomena, with the exception of the East and the Southeast Region. Moreover, the eastern part of the region is the most vulnerable in climatic terms.

KEYWORDS: climate change, weather anomalies, weather risks, recurrence of extreme events, statistical distributions

ВВЕДЕНИЕ

Одним из проявлений изменения климата является увеличение экстремальности и изменчивости метеорологических параметров. С началом XXI в. существенно возросла степень влияния климатических изменений на социально-экономическое развитие территорий, продовольственную и энергетическую безопасность, сельскохозяйственное производство, жизнедеятельность населения. В настоящее время невозможно определить «погодозависимую» отрасль экономики для каждого региона или в глобальном масштабе. Зависимость здоровья человека, функционирования различных технических и биологических систем от происходящих климатических воздействий требует систематизации ретроспективных оценок воздействий аномальных погодных явлений и разработки мер адаптации различных аспектов жизнедеятельности к будущему климату. Современная статистика свидетельствует о растущем во всем мире ущербе от опасных погодных и климатических явлений [Martínez *et al.*, 2012]; [The weather business..., 2013].

¹ Belgorod State University, Pobedy str., 85, 308015, Belgorod, Russia; e-mail: chendev@bsu.edu.ru

² Belgorod State University, Pobedy str., 85, 308015, Belgorod, Russia; e-mail: lebedeva_m@bsu.edu.ru

³ Belgorod State University, Pobedy str., 85, 308015, Belgorod, Russia; e-mail: krymskaya@bsu.edu.ru

⁴ Belgorod State University, Pobedy str., 85, 308015, Belgorod, Russia; e-mail: petina_m@bsu.edu.ru

Вместе с тем до настоящего времени понятие «климатический риск» окончательно не определено, и соответствующая терминология не является общепризнанной. Первоначально специалисты оценивали изменчивость повторяемости стихийных бедствий гидрометеорологического происхождения и связанные с этими явлениями экономические потери. Отмечается, что во всех регионах земного шара ущерб с конца XX в. постоянно возрастает¹, [IPCC, 2012].

Сопоставление статистических сведений о проявлении чрезвычайных ситуаций, связанных с погодой и климатом, затруднено, т.к. критерии опасных гидрометеорологических явлений различаются в масштабах одного крупного государства, располагающегося в различных физико-географических зонах (как, например, Российская Федерация) и сами критерии претерпевают изменения со временем^{2,3}. Проведённые Федеральной службой России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды расчёты климатической изменчивости [Бедрицкий и др., 2007] определяют климатическую уязвимость для крупных территорий: центра ЕТР, Поволжья или отдельных субъектов Федерации, но не позволяют оценить различия климатических рисков внутри отдельного региона. Нашей задачей явилась оценка изменчивости климатических показателей, отражающих влияние на жизнедеятельность населения и функционирования различных отраслей экономики для отдельного региона на примере Белгородской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Разные авторы вкладывают неодинаковый смысл в понятие «риск». Наибольшее распространение в климатическом обслуживании получило понятие «индекса уязвимости» (Vulnerability index), отражающего сочетание (со взвешиванием или без) нескольких показателей, которые указывают на потенциальный ущерб, который климатические изменения могут нанести определённому сектору экономики. Основным критерием уязвимости территории с точки зрения метеорологических параметров является экстремальность основных значений: суточной температуры воздуха, суточного количества осадков, максимальной скорости ветра [Young et al., 2011].

Формула для расчёта показателя климатической уязвимости выглядит следующим образом:

$$V_i = \frac{T_{\min}}{T_{\min, \text{cp}}} * F_1 + \frac{T_{\max}}{T_{\max, \text{cp}}} * F_2 + \frac{P_{\max}}{P_{\text{сз}}} * F_3 + \frac{V_{\max}}{V_{\text{cp}}} * F_4 \quad (1)$$

где T_{\min} , T_{\max} , P_{\max} , V_{\max} — значения абсолютных экстремумов минимальной температуры (самое низкое значение температуры воздуха за весь период наблюдений), максимальной температуры воздуха (наивысшая наблюдавшаяся за данный период температура воздуха), максимальной суточной суммы осадков, максимальной скорости ветра (наибольшее наблюдавшееся в данный период значение скорости ветра или его порывов) выбираются из статистических распределений рассматриваемых метеорологических характеристик для данного региона;

$T_{\min, \text{cp}}$, $T_{\max, \text{cp}}$, $P_{\text{сз}}$, V_{cp} — средние климатические значения рассматриваемых метеорологических элементов — вычисляются по статистическим распределениям;

¹ ВМО-№ 1075. Экстремальные явления погоды в условиях изменяющегося климата: от ретроспективы к предвидению. Всемирная метеорологическая организация, 2011. 19 с.

² Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 г. М.: Росгидромет, 2016. 70 с. Электронный ресурс: www.meteorf.ru/press/news/13595/ (дата обращения 04.01.2020)

³ Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. Санкт-Петербург, 2017. 106 с. Электронный ресурс: www.reports.weforum.org/global-risks-2017 (дата обращения 04.01.2020)

F_i — среднегодовая повторяемость экстремальных значений метеорологических характеристик. Для минимальной и максимальной температуры и максимальной скорости ветра вычисляется как число случаев, попавших в 5 %-ную градацию, делённое на число лет в выборке. Для максимальной суточной суммы осадков — как число случаев, попавших в 10 %-ную градацию, делённое на число лет в выборке. Данная процедура позволяет свести к минимуму влияние длины выборки на показатель изменчивости погоды [Бедрицкий и др., 2007].

Для оценки изменчивости условий погоды и их климатических проявлений был выбран массив суточных данных приземных метеорологических наблюдений на сети Росгидромета в Белгородской области за 1998–2017 гг., — периода, когда произошли наиболее значимые изменения в условиях атмосферной циркуляции и изменились некоторые климатические характеристики в регионе¹ [Кононова, 2014; www.atmospheric-circulation.ru]. Результаты были сопоставлены с аналогичными расчётами, определёнными для многолетней климатической «нормы–80», т.е. периода 1890–1980 гг.²

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для анализа региональных изменений климата, природных опасностей различных территорий была использована типизация циркуляции атмосферы Северного полушария, разработанная под руководством Б.Л. Дзерdzeевского [1968].

С 1899 г. на Северном полушарии сменились три циркуляционные эпохи: две меридиональные (с 1899 по 1915 г. и с 1957 г. по настоящее время) и одна зональная (1916–1956 гг.) [Кононова, 2014; www.atmospheric-circulation.ru]. При этом климатологи внутри южной меридиональной циркуляционной эпохи, начиная с 1957 г., выделяют периоды с повышенной продолжительностью какой-либо группы циркуляции при общем преобладании меридиональной южной (табл. 1).

Табл. 1. Циркуляционные периоды внутри меридиональной южной циркуляционной эпохи [Кононова, www.atmospheric-circulation.ru]

Table 1. Circulation periods within the meridional southern circulation epoch [Kononova, www.atmospheric-circulation.ru]

Период	Годы
Повышенная продолжительность меридиональной северной циркуляции	1957–1969
Рост продолжительности зональной циркуляции	1970–1980
Быстрый рост меридиональной южной циркуляции	1981–1997
Уменьшение продолжительности меридиональной южной циркуляции и рост меридиональной северной	1998–2013

Условия атмосферной циркуляции сказались на изменчивости региональных климатических характеристик среднемесячной температуры воздуха и количества выпадающих осадков [Lebedeva et al., 2016; 2019].

В современную эпоху (с 1998 г.) со сменой циркуляционных условий произошёл рост среднегодовых температур воздуха. Положительная аномалия среднегодовой температуры воздуха возросла до 1,8 °С, сохраняясь во все сезоны года [Lebedeva et al., 2019]. Максимальные значения среднеквадратических отклонений от средних многолетних значений температуры (3,2–3,8 °С) зафиксированы в зимние месяцы, но наряду с потеплением «по зимнему типу» фиксируется рост температур тёплого периода.

¹ Фондовые материалы Белгородского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 1900–2018 гг.

² Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Выпуск 28. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 366 с.

Осенью величины среднеквадратических отклонений температуры воздуха имели значение 1,3–1,4.

Начавшийся рост меридиональной северной циркуляции с 1998 г. сформировал неустойчивость атмосферы, что повлияло на повторяемость метеорологических экстремумов. В частности, современная циркуляция атмосферы в значительной степени определила формирование экстремальных значений метеорологических параметров в летний период, способствуя росту температур воздуха и повышению вероятности возникновения засух.

Уменьшается повторяемость лет с отрицательными среднегодовыми аномалиями температуры: если в первом периоде они составляли 38,5 %, во втором — 27,3 %, 17,6 % — в третьем, то в последнем периоде наблюдается отсутствие таковых [Lebedeva et al., 2019].

Период 1998–2016 гг. характеризуется наибольшей нестабильностью внутригодового режима осадков с тенденцией дефицита осадков в летний период. В июле-августе величина коэффициента вариации составляет 0,7.

К увеличению месячных сумм осадков привело возрастание повторяемости атмосферных процессов, связанных с выходами южных циклонов. Вместе с тем резко сократилось число дней с перемещением северо-западных антициклонов, ранее определявших величину выпадающих осадков в регионе. Отрицательные аномалии месячных сумм осадков в последние годы обусловили стационарные антициклоны, сформированные над Казахстаном и/или стационарные антициклоны над Восточной Европой [Lebedeva et al., 2016].

Происходящие в начале XXI в. изменения атмосферной циркуляции проявляются в увеличении повторяемости квазистационарных антициклонов, особенно в летний сезон. Тенденция роста засушливости второй половины вегетационного периода (июль–август) усилилась в сравнении с предыдущим периодом южной атмосферной циркуляции. Но наряду с годами острого дефицита осадков в отдельные годы фиксируется избыток увлажнения [Lebedeva et al., 2019], что в конечном итоге определяет климатические риски современного временного периода.

Значения показателей, отражающих изменчивость условий погоды: приземной температуры воздуха (Kt), скорости ветра (Kv), количества атмосферных осадков (Kr) и их суммарного значения (Ko), полученные с применением формулы (1) дают представление о климатической уязвимости различных пунктов метеонаблюдений отдельно для тёплого и холодного периодов и в целом за год (табл. 2).

Табл. 2. Климатическая изменчивость по пунктам метеорологических наблюдений Белгородской области за период 1998–2018 гг.
Table 2. Climatic variability on points of meteorological observations of Belgorod Region during the 1998–2018

Пункт	Тёплый период				Холодный период				Год
	Kt	Kv	Kr	Ko	Kt	Kv	Kr	Ko	
Богородицкое-Фенино	13,7	24,1	249,7	287,5	12,5	16,5	84,4	113,4	400,9
Белгород	13,1	34,3	266,3	313,7	11,4	23,6	85,9	120,9	434,6
Валуйки	12,8	34,5	297,5	344,8	13,7	23,4	140,7	177,8	522,6
Новый Оскол	13,3	34,4	384,7	432,4	12,5	14,7	224,9	252,1	684,5
Готня	12,6	29,5	235	277,1	10,7	10,1	78,3	99,1	376,2

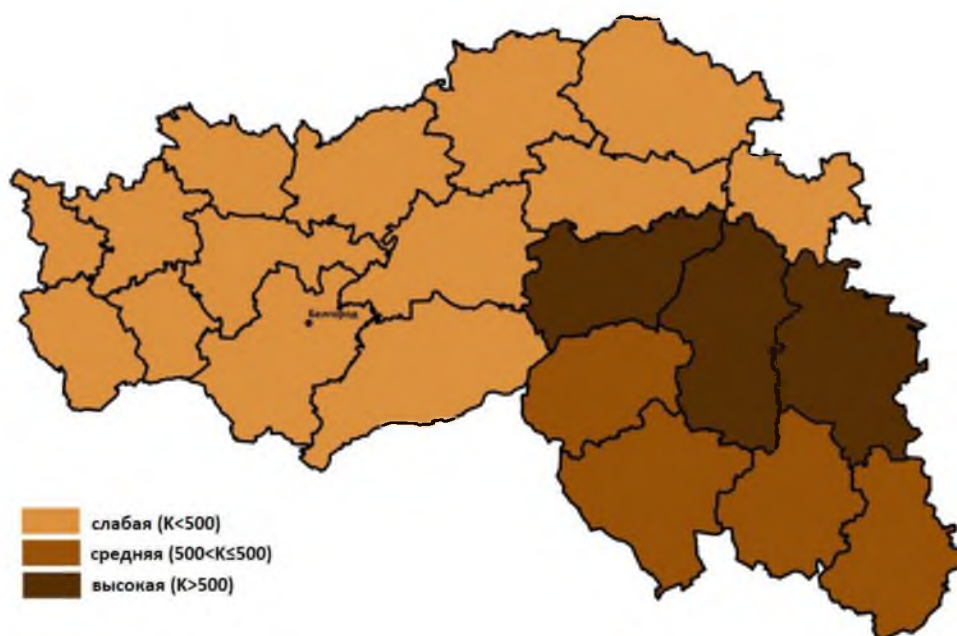
По сравнению с предыдущим 90-летним периодом, экстремальные климатические условия летом были усилены за счёт увеличения повторяемости температур воздуха, превышающих 30 °С (среднегодовая повторяемость которых в исследуемом периоде составила 19,4 дня за период

активной вегетации, в то время как климатическая норма составляла 11,9 дней), также увеличилось число дней с температурой воздуха, превышающих 35 °С (с 0,84 до 2,1 дня).

В холодном полугодии, напротив, повторяемость экстремально низких температур снизилась — среднегодовая повторяемость температур воздуха ниже -30 °С в исследуемом периоде составила 0,21 дня, в то время как климатическая норма составляла 0,71 дня. До 1980 г. наблюдались температуры ниже -35 °С, которые не отмечены в периоде 1998–2018 гг.

Полученные среднеобластные значения индексов климатической уязвимости для Белгородской области РФ составляют для зимнего периода 150 баллов, для летнего сезона — 330 баллов, что указывает на преобладание экстремальных метеорологических условий в тёплый сезон. Большая часть территории характеризуется относительно низким риском климатических воздействий, за исключением востока и юго-востока области. При этом наиболее уязвимой в климатическом отношении является восточная часть области.

С учётом рекомендаций Росгидромета о территории распространения данных наблюдений отдельной метеостанции на административные районы области была составлена карта климатических рисков Белгородской области (1998–2018 гг.) (рис. 1).



*Рис. 1. Показатель климатических рисков Белгородской области (1998–2018 гг.)
Fig. 1. Indicator of climate risks of Belgorod Region (1998–2018)*

За исследуемый период 1998–2018 гг. прослеживается выраженная широтно-долготная закономерность изменений рисков по территории региона.

Существенная часть Белгородской области (центр, запад и север территории) характеризуется слабой климатической уязвимостью. Средняя величина климатической уязвимости характерна для юго-востока области. Восточные районы области находятся в зоне высокой климатической изменчивости.

ВЫВОДЫ

Происходящие климатические изменения требуют выработки адаптационных мер для обеспечения устойчивого развития территорий. Особенности развития атмосферной циркуляции в умеренных широтах в начале XXI в. привели к увеличению повторяемости опасных атмосферных процессов и явлений, изменению экстремальных климатических значений метеорологических параметров.

Мы считаем, что сложившаяся схема развития циркуляционных процессов позволяет нам предположить, что повторяемость опасных явлений с годами будет только возрастать. При этом внутри отдельного субъекта Федерации, даже небольшого по площади, климатическая изменчивость проявляется неоднородно. Для планирования мер по снижению ущерба от негативных проявлений опасных гидрометеорологических явлений целесообразно детализировать территориальные различия климатических рисков.

Неустойчивость циркуляционных процессов будет наблюдаться в регионе ещё в течение 15–20 лет, т.е. до тех пор, пока меридиональный тип циркуляции не сменится зональным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бедрицкий А.И., Коршунов А.А., Хондожко Л.А., Шаймарданов М.З.* Гидрометеорологическая безопасность и устойчивое развитие России. Право и безопасность, 2007. № 1–2 (22–23). С. 7–13.
2. *Дзержевский Б.Л.* Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в XX столетии. Материалы метеорологических исследований. М.: Издательство ИГ АН СССР и Междувед. геофиз. комитета при Президиуме АН СССР, 1968. 240 с.
3. *Кононова Н.К.* Особенности циркуляции атмосферы Северного полушария в конце XX – начале XXI века и их отражение в климате. Сложные системы, 2014. № 2(11). С. 11–35.
4. *Кононова Н.К.* Колебания циркуляции атмосферы в XX – начале XXI века. Электронный ресурс: www.atmospheric-circulation.ru (дата обращения 04.01.2020).
5. Climate Research Unit. Web resource: www.cru.uea.ac.uk/data/temperature/ (accessed 04.01.2020).
6. IPCC, 2012: Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change. A special report of Working Groups I and II. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. 582 p.
7. *Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Lupo A.R., Chendev Yu.G., Petin A.N., Solovyev A.B.* Trends in summer season climate for Eastern Europe and Southern Russia in the early 21st century. Hindaws Publishing Corporation Advances in Meteorology, 2016. V. 2016. 10 p. DOI: 10.1155/2016/5035086.
8. *Lebedeva M.G., Lupo A.R., Chendev Y.G., Krymskaya O.V., Solovyev A.B.* Changes in the atmospheric circulation conditions and climatic characteristics in two remote regions since the mid-20th century. Atmosphere, 2019. 23 p. DOI: 10.3390/atmos10010011.
9. *Martinez R., Hemming D., Malone L., Bermudez N., Cockfield G., Diongue A., Hansen J., Hildebrand A., Ingram K., Jakeman G., Kadi M., McGregor G.R., Mushtaq S., Rao P., Pulwarty R., Ndiaye O., Srinivasan G., Seck Eh., White N., Zougmore R.* Improving climate risk management at local level — techniques, case studies, good practices and guidelines for World Meteorological Organization members. Risk Management — Current Issues and Challenges. InTech Europe. Rijeka, 2012. P. 477–532. DOI: 10.5772/51554.
10. The weather business — how companies can protect against increasing weather volatility. Allianz Global Corporate & Specialty, 2013. 36 p.
11. *Young E., Byes E., Hammerson G., Frances F., Oliver L., Treher A.* Guidelines for using the NatureServe Climate Change Vulnerability Index Release 3.0. Arlington, Virginia: NatureServe, 2015. 63 p.

REFERENCES

1. *Bedritsky A.I., Korshunov A.A., Khondozhko L.A., Shaimardanov M.Z.* Hydrometeorological safety and sustainable development of Russia. Law and security, 2007. No 1–2 (22–23). P. 7–13 (in Russian).
2. Climate Research Unit. Web resource: www.cru.uea.ac.uk/data/temperature/ (accessed 04.01.2020).

3. *Dzerdzevsky B.L.* Circulation mechanisms in the atmosphere of the Northern hemisphere in the XX century. Materials of meteorological studies. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR and the Interdepartmental Geophysical Committee under the Presidium of the Academy of Sciences of the USSR, 1968. 240 p. (in Russian).
 4. IPCC, 2012: Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change. A special report of Working Groups I and II. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. 582 p.
 5. *Kononova N.K.* Features of the circulation of the atmosphere of the Northern Hemisphere at the end of the XX – beginning of the XXI centuries and their reflection in the climate. Complex systems, 2014. No 2 (11). P. 11–35 (in Russian).
 6. *Kononova N.K.* Fluctuations in atmospheric circulation in the 20th – early 21st centuries. Web resource: www.atmospheric-circulation.ru (accessed 04.01.2020) (in Russian).
 7. *Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Lupo A.R., Chendev Yu.G., Petin A.N., Solovyev A.B.* Trends in summer season climate for Eastern Europe and Southern Russia in the early 21st century. Hindaws Publishing Corporation Advances in Meteorology, 2016. V. 2016. 10 p. DOI: 10.1155/2016/5035086.
 8. *Lebedeva M.G., Lupo A.R., Chendev Y.G., Krymskaya O.V., Solovyev A.B.* Changes in the atmospheric circulation conditions and climatic characteristics in two remote regions since the mid-20th century. Atmosphere, 2019. 23 p. DOI: 10.3390/atmos10010011.
 9. *Martinez R., Hemming D., Malone L., Bermudez N., Cockfield G., Diongue A., Hansen J., Hildebrand A., Ingram K., Jakeman G., Kadi M, McGregor G.R., Mushtaq S., Rao P., Pulwarty R., Ndiaye O., Srinivasan G., Seck Eh., White N., Zougmore R.* Improving climate risk management at local level — techniques, case studies, good practices and guidelines for World Meteorological Organization members. Risk Management — Current Issues and Challenges. InTech Europe. Rijeka, 2012. P. 477–532. DOI: 10.5772/51554.
 10. The weather business — how companies can protect against increasing weather volatility. Allianz Global Corporate & Specialty, 2013. 36 p.
 11. *Young E., Byes E., Hammerson G., Frances F., Oliver L., Treher A.* Guidelines for using the NatureServe Climate Change Vulnerability Index Release 3.0. Arlington, Virginia: NatureServe, 2015. 63 p.
-