

ISSN 2410-8758



Фундаментальная и прикладная климатология

Fundamental and
Applied Climatology

ТОМ 11 № 1

2025

Фундаментальная и прикладная климатология том 11 № 1 / 2025 г.

Federal Service
for Hydrometeorology
and Environmental
Monitoring (Roshydromet)

ISSN 2410-8758

FUNDAMENTAL AND APPLIED
CLIMATOLOGY

Volume 11 № 1

Moscow 2025

**ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ
КЛИМАТОЛОГИЯ**

Том 11 № 1 2025 год

Научный редактор: М.Ю. Бардин

Выпускающий редактор: В.А. Гинзбург

Технические редакторы:

Л.В. Кудрявцева, И.М. Брускина

Корректор: Л.В. Цибизова

Верстка: Л.А. Прохорова

Формат: 160 x 260

Печать цифровая

Бумага офсетная

Печатных листов:

Тираж 150 экз.

Свидетельство о регистрации СМИ:

ПИ № ФС77-74294 Подписано в

печать Отпечатано в типографии

Федеральная служба
по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды
(Росгидромет)

ISSN 2410-8758

**ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ
КЛИМАТОЛОГИЯ**

Том 11 № 1

Москва 2025

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ

Научный журнал (4 выпуска в год), публикующий оригинальные и обзорные статьи о процессах и явлениях регионального и глобального масштабов по следующей тематике: формирование климата Земли, естественные и антропогенные факторы изменения климатической системы, выявление и атрибуция трендов ее состояния и соответствующих рисков для природных и социально-экономических систем, вопросы митигации и адаптации. Публикуются также статьи о результатах мониторинга климатической системы и о значительных событиях в научном мире. Издается по решению Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Статьи представляются и публикуются на русском или английском языках. Возможна также публикация переводов статей, опубликованных ранее или же в текущем номере.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: С.М. Семенов (главный редактор), М.Ю. Бардин (заместитель главного редактора), А.М. Стерин (заместитель главного редактора), К.Н. Анахаев, А.С. Астахов, Р.В. Бекряев, Е.М. Володин, В.А. Гинзбург, В.Б. Геннадинник, А.В. Елисеев, А.Н. Золотокрылин, А.Л. Иванов, А.В. Кислов, А.В. Клепиков, А.Г. Костяной, В.Н. Крупчатников, С.А. Лавров, Е.С. Нестеров, А.Б. Полонский, Л.А. Прохорова (ответственный секретарь), Э.Я. Ранькова, В.А. Семенов, Ю.Б. Скачков, Е.И. Хлебникова.

Адрес для первичного представления материалов для публикации: РФ, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20Б, ИГКЭ, Семенову С.М.; semenov@igce.ru.

Международный стандартный номер сериального периодического издания
ISSN 2410-8758.

Подписной индекс по каталогу Роспечати – 58364.

Свидетельство о регистрации журнала в форме печатного СМИ:

ПИ № ФС77-74294 от 9 ноября 2018 г.

веб-страница: <https://fa-climatology.ru>.

FUNDAMENTAL AND APPLIED CLIMATOLOGY

A quarterly scientific journal publishing original and review papers on events and processes of regional and global scales on the following topics: Earth's climate forming processes, natural and anthropogenic factors of changes in the climate system, detection and attribution of its trends and associated risks for natural and socio-economic systems, mitigation and adaptation issues. Articles presenting the results of climate system monitoring and significant events in the scientific world are also invited. The journal is published according to the decision of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring.

Articles are submitted and published in Russian or English. The publication of translations of articles published in the previous or current issues is also possible.

EDITORIAL BOARD: S.M. Semenov (Editor-in-Chief), M.Yu. Bardin (Deputy Editor-in-Chief), A.M. Sterin, (Deputy Editor-in-Chief), K.N. Anakhaev, A.S. Astakhov, R.V. Bekryaev, E.M. Volodin, V.A. Ginzburg, V.B. Gennadinnik, A.V. Eliseev, A.N. Zolotokrylin, A.L. Ivanov, A.V. Kislov, A.V. Klepikov, A.G. Kostianoy, V.N. Krupchatnikov, S.A. Lavrov, E.S. Nesterov, A.B. Polonskiy, L.A. Prokhorova (Executive Secretary), E.Ya. Rankova, V.A. Semenov, Yu.B. Skachkov, E.I. Khlebnikova.

Primary submission of manuscripts: Semenov S.M., IGCE, Glebovskaya str., 20B, 107258, Moscow, Russian Federation; e-mail: semenov@igce.ru

International standard serial number of the periodical ISSN 2410-8758.

Subscription index in the Rospechat catalogue – 58364.

Certificate of registration of the journal in the form of printed media:

ПИ № ФС77-74294 of 09.11.2018.

web-page: <https://fa-climatology.ru>.

СОДЕРЖАНИЕ

СОБЫТИЯ И ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

Академик Георгий Сергеевич Голицын: к 90-летию со дня рождения.....5

ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБЗОРЫ

Богданович А.Ю., Фролов А.Н., Семенов С.М.

Современный климатический ареал хлопковой совки
и его трансформация в XXI веке вследствие изменения климата.....8

Виноградова В.В., Титкова Т.Б.

Биоклиматическое районирование России с использованием
Универсального термического климатического индекса (UTCI)
в условиях современного и будущего климатов.....55

Маслова В.Н., Воскресенская Е.Н.

Детерминированность временной изменчивости повторяемости
циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе.....75

МОНИТОРИНГ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Коршунова Н.Н., Давлетшин С.Г.

Мониторинг характеристик облачности на территории
России по данным наземных наблюдений.....115

Сабирова М.В.

Продолжительности солнечного сияния в Приволжском
федеральном округе: оценка состояния и трендов.....134

CONTENTS

EVENTS AND COMMEMORATIVE DATES

Academician Georgiy Sergeevich Golitsyn: to the 90 th birthday.....	5
--	---

STUDIES AND REVIEWS

Bogdanovich A.Yu., Frolov A.N., Semenov S.M.

The current climatic range of the cotton bollworm and its transformation in 21 st century due to climate change.....	8
--	---

Vinogradova V.V., Titkova T.B.

Bioclimatic zoning of Russia using the universal thermal index (UTCI) in current and future climates.....	55
--	----

Maslova V.N., Voskresenskaya E.N.

Determinacy of temporal variability of cyclone frequency in the Black Sea-Mediterranean region.....	75
--	----

CLIMATE SYSTEM MONITORING

Korshunova N.N., Davletshin S.G.

Cloud characteristics monitoring on the Russian territory based on the ground observations.....	115
--	-----

Sabirova M.V.

Duration of sunshine in the Volga Federal District: an assessment of status and trends.....	134
--	-----

СОБЫТИЯ И ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

Академик Георгий Сергеевич Голицын: к 90-летию со дня рождения

23 января 2025 г. исполнилось 90 лет со дня рождения выдающегося российского ученого и организатора науки, академика АН СССР и РАН Георгия Сергеевича Голицына. Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля и редколлегия журнала «Фундаментальная и прикладная климатология» поздравляют Георгия Сергеевича с этой замечательной датой и желают ему долголетия, крепкого здоровья и дальнейших творческих достижений.

Academician Georgiy Sergeevich Golitsyn: to the 90th birthday

January 23, 2025 marked the 90th anniversary of the birth of the outstanding Russian scientist and organizer of science, academician of the USSR Academy of Sciences and the Russian Academy of Sciences Georgiy Sergeevich Golitsyn. Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology and the Editorial Board of the journal "Fundamental and Applied Climatology" congratulate Georgiy Sergeevich on this remarkable date and wish him longevity, good health and further creative achievements.



Георгий Сергеевич Голицын родился и получил образование в Москве, закончил с отличием физический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Его жизнь в науке посвящена исследованиям в области физики атмосферы и геофизики в ее широком понимании. Особенностью стиля научных исследований Г.С. Голицына является сочетание ясного представления о физической сущности процессов с глубоким пониманием их уместного математического описания и формализации. Это стало возможным благодаря в том числе его исключительной математической эрудиции.

Область научных интересов Георгия Сергеевича необычайно широка. Она охватывает магнитную гидродинамику, распространение различных волн в тур-

булентных средах, планетарные атмосферы, конвекцию в различных, в том числе вращающихся, средах, спектры космических лучей, теорию землетрясений, теорию морских ветровых волн и их роль в распространении загрязняющих веществ на водной поверхности, теорию ураганов, статистическую структуру рельефа планетных поверхностей.

Для Георгия Сергеевича характерна увлеченность текущим предметом исследований. Коллеги всегда отмечали его погруженность в проблему, творческую сосредоточенность и эмоциональный подъем при продвижении к цели исследования. В последние годы Г.С. Голицын увлеченно работает в области математической физики, а именно исследует различные аспекты применения уравнения, предложенного в 1934 г. академиком АН СССР А.Н. Колмогоровым, к математическому описанию природных явлений. По результатам этой работы в 2024 г. опубликована статья в журнале «Успехи физических наук» (т. 194, № 1). Георгий Сергеевич – автор более 400 научных публикаций, в том числе 6 монографий.

Хотя академик Г.С. Голицын по своему происхождению, манерам и образу жизни, пожалуй, более других крупных современных ученых соответствует представлению о кабинетном мыслителе, он также обладает выраженными организационными талантами и общественным темпераментом.

В период 1990-2008 гг. он был директором Института физики атмосферы (сейчас – Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН). Он унаследовал институт, который возглавлял академик АН СССР А.М. Обухов, и не только сохранил научный потенциал института в 1990-е годы, но и увеличил его престиж в стране и в мире. И сейчас Г.С. Голицын уделяет много сил и времени институту, возглавляет отдел динамики атмосферы.

Вся научная жизнь Г.С. Голицына связана с Академией наук СССР и Российской академией наук (РАН). Он был членом Президиума РАН, долгие годы возглавлял «Научный совет РАН по теории климата Земли».

Много времени и сил Георгий Сергеевич уделял и уделяет преподавательской деятельности. В течение многих десятилетий он преподавал в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, является заслуженным профессором этого учебного заведения. В Московском физико-техническом институте он преподает с 1976 года по настоящее время. Все это позволило не только воспитать множество учеников, которые сейчас являются известными учеными, некоторые из них – членами РАН, но и привлечь их к работе в Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова, что способствовало увеличению его научного потенциала.

Общественная активность Г.С. Голицына, в том числе – международная, наиболее ярко проявилась в 1980-е годы в связи с концепцией «ядерной зимы». Речь шла о возможных последствиях ядерной войны для земной системы, в том числе для климата. Для исследования этой проблемы ООН организовала специальную Рабочую группу. Ее выводы и заключения позволили 44-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН принять резолюцию о недопустимости ядерной войны.

Значительна роль Г.С. Голицына в организации международного научного сотрудничества. Он был членом Объединенного научного комитета, который управляет Всемирной программой исследования климата (ВПИК), в течение пяти лет (1992-1997 гг.) был председателем научного совета МИПСА – Международного института прикладного системного анализа (Лаксенбург, Австрия). При его директорстве была организована в 2007 г. совместная лаборатория по исследованиям атмосферы и климата двух Институтов физики атмосферы – Российской и Китайской академий наук.

Научная деятельность академика Г.С. Голицына отмечена многими почетными научными наградами. Он – Почетный ученый Международного института прикладного системного анализа (Honorary Scholar of IASA), Почетный член Королевского метеорологического общества Великобритании (Honorary Fellow of Royal Meteorological Society), член Европейской академии и Европейского союза наук о Земле. Среди его наград – высшее отличие Европейского союза наук о Земле – медаль Альфреда Вегенера за выдающиеся заслуги в области наук об атмосфере, океане и климате. Он – лауреат Золотой медали имени А.М. Обухова РАН. Он удостоен премии имени А.А. Фридмана за цикл работ по исследованиям общей циркуляции атмосферы и конвекции, премии имени Б.Б. Голицына за монографию “Статистика и динамика природных процессов и явлений: методы, инструментарий, результаты”, Демидовской премии за выдающиеся заслуги в области наук о Земле. Академик Г.С. Голицын в 2019 г. был награжден высшей научной наградой Российской академии наук – Большой золотой медалью имени М.В. Ломоносова.

Заслуги Г.С. Голицына отмечены также государственными наградами, в том числе орденом Почета и орденом “За заслуги перед Отечеством” IV степени.

В формате краткой заметки, конечно, невозможно дать полную характеристику личности Г.С. Голицына, его деятельности и значения для отечественной и мировой науки. К тому же Георгий Сергеевич обладает широкой эрудицией в самых различных сферах, а не только в естественных науках. Например, он – автор книг об истории своей знаменитой семьи. Им опубликована замечательная научно-популярная книга «Жизнь, наука и связи людей».

Поэтому в заключение отметим лишь следующее. Его жизнь – пример служения науке во всех ее аспектах – фундаментальном и прикладном, академическом и политическом. И, кроме высоких научных и государственных наград, Георгий Сергеевич Голицын заслуженно удостоен, пожалуй, самой высокой общественной награды – доброго имени у нас в стране и за рубежом, высокого уважения коллег, преданности учеников и последователей.

Современный климатический ареал хлопковой совки и его трансформация в XXI веке вследствие изменения климата

А.Ю. Богданович^{1)*}, А.Н. Фролов²⁾, С.М. Семенов^{1,3)}

¹⁾ Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля,
РФ, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20Б

²⁾ Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений,
РФ, 196608, г. Санкт-Петербург-Пушкин, шоссе Подбельского, 3

³⁾ Институт географии РАН,
РФ, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29

*Адрес для переписки: bogda-anton@yandex.ru

Реферат. Хлопковая совка *Helicoverpa armigera* Hbn. – один из наиболее опасных сельскохозяйственных вредителей на планете, высокий адаптивный потенциал которого формируется за счет необычайно широкой полифагии гусениц, очень большой плодовитости, высокой мобильности и вариативного поведения при выборе кормовых растений у имаго, а также способности генерировать факультативную диапаузу на стадии куколки. Хлопковая совка представляет собой также одного из самых широко распространенных насекомых на планете, фактический, географический ареал которого постоянно расширяется. Так, по сравнению с началом XX века и даже его серединой зона вредоносности хлопковой совки в России расширилась более чем на 700 км к северу, а именно от южных границ степной зоны до севера лесостепей и юга тайги. В статье анализируется расчетный климатический ареал хлопковой совки на территории России, полученный с помощью системы RANGES, которая на основе данных моделирования климата и значений климатических предикторов позволяет получить статистическую оценку уверенности в том, что заданная точка географического пространства принадлежит климатическому ареалу вида. В качестве климатического предиктора для развития одного поколения хлопковой совки использована сумма эффективных температур, составляющая 550°C·сут при пороге 11°C. С использованием данных мониторинга и моделирования климата рассчитан климатический ареал хлопковой совки, соответствующий климату 1990-1999 гг. Примечательно, что его границы хорошо соответствуют ранее полученным расчетам других авторов для зон вредоносности вредителя. Оценки климатического ареала вредителя для климатов 2030-2039 и 2050-2059 гг. в условиях сценариев RCP4.5 и RCP8.5 указывают на значительное расширение ареала на север, возможно,

севернее 60° с.ш. Это свидетельствует о вероятной экспансии хлопковой совки в условиях ожидаемого изменения климата. Хотя в настоящее время сельскохозяйственные культуры, повреждаемые хлопковой совкой, в основном произрастают южнее вероятных северных границ её будущего климатического ареала, очевидно, что пищевой фактор не будет лимитировать распространение хлопковой совки на север, поскольку (1) происходит неуклонный рост площадей под посевами суперранних и раннеспелых гибридов кукурузы на зерно и (2) этот крайне многоядный вредитель способен использовать для питания разные обильно произрастающие в зоне его обитания виды растений-хозяев, причем как культурные, так и дикорастущие.

Ключевые слова. Климатические предикторы, хлопковая совка, территория России, климатический ареал, изменения, XXI век, система RANGES.

The current climatic range of the cotton bollworm and its transformation in 21st century due to climate change

A.Yu. Bogdanovich^{1)}, A.N. Frolov²⁾, S.M. Semenov^{1,3)}*

¹⁾Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russian Federation

²⁾All-Russian Research Institute of Plant Protection,
3, shosse Podbelskogo, 196608, St. Petersburg-Pushkin, Russian Federation

³⁾Institute of Geography, Russian Academy of Sciences,
29, Staromonetnyi lane, 119017, Moscow, Russian Federation

*Correspondence address: *bogda-anton@yandex.ru*

Abstract. The cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* Hbn., is one of the most dangerous agricultural pests on the planet, which high adaptive potential is based on the unusually wide larval polyphagy, very high fecundity, high mobility and variable behavior when choosing forage plants in adults, as well as the ability to generate a facultative diapause at pupal stage. The cotton bollworm is also one of the most widespread insects on the planet, which factual, geographic range is constantly expanding. Thus, in comparison with the beginning of the XXI century or even its middle, the zone of harm of the cotton bollworm in Russia has expanded by more than 700 km to the north, namely from the southern borders of the steppe zone to the north of the forest-steppe and the south of the taiga. The paper analyzes the computed climatic range of the cotton bollworm in Russia, obtained with the RANGES system. It is based on climate modeling data and values of climate predictors and allows us to obtain statistical estimates of confidence that a given point in geographical space belongs to the climatic range of the species. The sum of effective temperatures amounting to 550°C·day at a threshold of 11°C was used as a climatic predictor for the development of cotton bollworm's single generation. The climatic range of cotton bollworm corresponding to climate of 1990-1999 was assessed. It is noteworthy that the obtained spread boundaries corresponds well

with the earlier results of other authors for the pest harmful zones. Assessment results for 2030-2039 and 2050-2059 climates under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios indicate a significant expansion of the pest spread to the north, possibly even north of 60°N. This indicates the likely expansion of the cotton bollworm under expected climate change. Although currently crops damaged by the cotton bollworm mainly grow south of the probable boundaries of its future range, it is obvious that the food factor will not limit the expansion of the cotton bollworm to the north, since (1) there is a steady increase in the area under crops of super-early and early-ripening corn hybrids and (2) this extremely polyphagous pest is able to use for feeding various host plant species that grow abundantly in its habitat, both cultivated and wild.

Keywords. Climatic predictors, cotton bollworm, territory of Russia, climatic range, changes, 21st century, RANGES system.

Введение

Хлопковая совка (*Helicoverpa armigera* Hbn., Lepidoptera: Noctuidae) – один из наиболее опасных вредителей растений на Земле (Lammers, MacLeod, 2007; Sharma et al., 2010; Haile et al., 2021; Riaz et al., 2021). Как и во всем мире хлопковая совка в России и соседних странах также повреждает весьма широкий круг как культурных (томаты, нут, горох, и другие зернобобовые, хлопчатник, табак, сорго и многие другие), так и дикорастущих (канатник Теофраста, щирицу, коноплю, паслен, дурман, лебеду и пр.) растений (Богачев, 1954; Полоскина, 1962; Фефелова, Фролов, 2007; Афонин и др., 2008; Матов, Кононенко, 2012; Черкашин, и др., 2014; Артохин и др., 2017). Ежегодный ущерб, наносимый ею сельскохозяйственным растениям, превышает 5 млрд долларов США (Tay et al., 2013).

Известно, что прогноз динамики численности и вредоносности вредных насекомых является одним из ключевых элементов интегрированной защиты растений (Barzman et al., 2015; Dent, Binks, 2020). Соответственно, в текущих условиях глобальных изменений климата прогноз вредоносной деятельности хлопковой совки представляет несомненный интерес для долгосрочного планирования сельскохозяйственного производства.

В зарубежной литературе можно найти немало публикаций, посвященных прогнозированию фитосанитарной ситуации и динамике ареала хлопковой совки, в том числе для Индии, Китая, Австралии и США. Их выводы в целом согласуются между собой в том отношении, что потепление климата будет способствовать и росту численности, и расширению ареала вредителя (Zalucki, Furlong, 2005; Srivastava et al., 2010; Kriticos et al., 2015; Mathukumalli et al., 2016; Huang, Hao, 2020; Huang, 2021; Bapatla et al., 2022; Srinivasa Rao et al., 2023).

В нашей стране продолжают поступать сообщения, свидетельствующие об экспансии хлопковой совки на новые более северные территории. Так, в последние годы поступали сообщения о появлении питающихся гусениц вредителя на разных видах растений-хозяев в Оренбургской (Сигнализационное

сообщение..., 2016), Тамбовской (Сигнализационное сообщение..., 2021), Пензенской (Сигнализационное сообщение..., 2022), Самарской (Сигнализационное сообщение..., 2024) областях и в Республике Татарстан (Сигнализационное сообщение..., 2020).

Фактическая область распространения вида, его географический ареал определяется всей совокупностью абиотических и биотических факторов среды. Более широкая область – климатический ареал вида.

Это – совокупность точек географического пространства, в которых климат допускает устойчивое существование популяций вида при благоприятном сочетании остальных факторов динамики численности. Это важная характеристика вида, особенно при выполнении прикладных оценок того, достиг ли вид климатических пределов своего распространения и как они могут меняться при изменении климата.

Цели настоящей статьи:

- охарактеризовать особенности хлопковой совки, способствующие ее широкому распространению и вредоносности;
- выполнить моделирование текущего климатического ареала хлопковой совки на территории России;
- провести модельный расчет климатического ареала хлопковой совки на территории России для 2030-2039 и 2050-2059 гг., в условиях умеренного и экстремального сценариев изменения глобального климата – соответственно RCP4.5 и RCP8.5.

Особенности хлопковой совки, способствующие ее широкому распространению и вредоносности

Географический ареал и миграционная активность

Хотя об исходном ареале хлопковой совки судить трудно, родственные этому насекомому виды в основном обитают в тропических и субтропических областях Африки, Азии, Америки, Австралии и на островах Тихого Океана (Hardwick, 1965). В этой связи не вызывает удивления то обстоятельство, что области максимальной встречаемости и наибольшей вредоносности хлопковой совки преимущественно охватывают тропические и субтропические регионы, хотя этот вредитель наносит также существенный ущерб и в южной и центральной Европе, южной Африке, умеренных зонах Азии, Австралии, Океании и др. регионах (Jones et al., 2019; *Helicoverpa armigera*..., 2021; EPPO, 2024).

В настоящее время хлопковая совка представляет собой одного из самых широко распространенных насекомых на планете, ареал которого охватывает Европу, Африку, Азию и Австралию. Недавно этому виду удалось проникнуть в Южную и Центральную Америку, широко там расселиться (Murúa et al., 2014; Kriticos et al., 2015; Jones et al., 2019; *Helicoverpa armigera*..., 2021; EPPO, 2024) и войти в контакт, в том числе половой, с обитающим в Америке близкородственным видом – кукурузной совкой *Helicoverpa zea* (Boddie) (Leite et al., 2014; Bentivenha et al., 2016; Cordeiro et al., 2020; Rios et al., 2022).

Поскольку хлопковая совка – активный мигрант, ежегодно сообщается о случаях залета бабочек вредителя в такие места, где климатические условия пока не позволяют насекомым завершить полный цикл развития. Так, в летние месяцы имаго *H. armigera* нередко обнаруживаются на севере Европы вплоть до 59° с.ш., хотя территории, где возможно успешное завершение развития поколения, включая перезимовку, в настоящее время расположены гораздо южнее. До 80-х гг. прошлого века северная граница таких территорий в Европе проходила примерно по 40° с.ш., однако в условиях потепления климата она сместилась к северу более чем на 500 км, перейдя через 45° с.ш. (Lammers, MacLeod, 2007).

На территории бывшего СССР основными регионами распространения и вредоносности хлопковой совки являются Закавказье (Азербайджан), Северный Кавказ, степи и лесостепи Восточно-Европейской равнины, низменные орошаемые районы и предгорья Средней Азии, юг Дальнего Востока.

Что касается территории современной России, то по сравнению с первой половиной XX века (Алфераки, 1907; Кожанчиков, 1941; Горышин, 1958) зона вредоносности хлопковой совки расширилась более чем на 700 км к северу – от южных границ степной зоны до севера лесостепей и юга тайги (Говоров и др., 2013; Ченикалова, Коломыцева, 2021). На этих новых для вредителя территориях ему в последние 20 лет была обеспечена огромная кормовая база, поскольку площади под кукурузой в России выросли в три, а валовые сборы зерна – в четыре раза, причем произошло это в первую очередь за счет посевных площадей, развернутых в областях Центрально-Чернозёмного экономического района (ЦЧР), т.е. в Курской, Воронежской, Тамбовской, Брянской и Белгородской областях (АБ Центр, 2024).

Биологические особенности

Этот вредитель обладает высоким уровнем вредоносности, и для этого есть несколько причин.

Во-первых, это – широкий полифаг. Современный список повреждаемых этим насекомым растений в мире насчитывает чуть ли не 300 видов из более чем 70 семейств (Riaz et al., 2021; *Helicoverpa armigera*..., 2021; Yadav et al., 2022). Гусеницы хлопковой совки, особенно в старших возрастах, предпочитают питаться репродуктивными органами (бутонами, завязями и плодами) (Zalucki et al., 1986; Fitt 1989; Jallow et al., 2001; Артохин и др., 2017). Это не только обеспечивает повышенную кормовую ценность, но и способствует меньшей подверженности воздействию защитных барьеров растений, обеспечивая в результате высокий уровень жизнеспособности насекомого (Liu et al., 2010).

Хотя чаще всего основным растением-хозяином вредителя служит кукуруза (Полоскина, 1962; Кузнецова, 1971; Сингх, 1973; Фролов, Фефелова, 2006; Фролов, 2011), по мере нарастания вредной деятельности в XXI веке в России у насекомого проявилась тенденция к расширению спектра повреждаемых видов растений. Так, долгие годы, включая весь XX век, хлопковая

совка на Северном Кавказе вредила, главным образом, овощным пасленовым культурам – томату, перцу, баклажану и, конечно, кукурузе. Но примерно с 2010 г. вредоносность насекомого стали отмечать на подсолнечнике и сое, затем – на винограде и персиках, а в последние годы – даже на пшенице (Черкашин и др., 2014, 2019; Арестова, Рябчун, 2015; Ченикалова, 2016; Юрченко и др., 2018). Более того, недавно появились сообщения о том, что и в Таджикистане у вредителя меняются пищевые приоритеты: в современных условиях насекомые предпочитают развиваться на кукурузе, томатах и болгарском перце, тогда как хлопчатник резко теряет свою привлекательность (Мухитдинов, Хушвахтова, 2017; Мухитдинов, Ботурова, 2019). Впрочем, в литературе и раньше появлялась информация о том, что трофические предпочтения хлопковой совки могут существенно меняться во времени и пространстве, в том числе в связи с адаптацией к изменениям в структуре агроценозов, обусловленным хозяйственной деятельностью (Уваров, 1924; Соснина, 1935; Щеткин, 1956; Бориско, 1961; Винклер, 1971). Таким образом, характерной чертой поведения бабочек хлопковой совки является их способность к «обучению», что позволяет им выбирать для откладки яиц виды растений, наиболее обильно произрастающие в районе их обитания. И это несмотря на то, что таковые прежде могли вовсе не повреждаться (Cunningham et al., 1998, 1999; Cunningham, West, 2008).

Во-вторых, высокий уровень вредоносности хлопковой совки обусловлен ее высокой мобильностью: имаго способны совершать дальние миграционные перелёты на расстояния 600-1000 км и более (Pedgley, 1985, 1986; Pedgley et al., 1987; Farrow, Daly, 1987; Gregg et al., 1995; Feng et al., 2005, 2009).

В-третьих, по сравнению с другими представителями подсемейства *Heliothinae* (Matthews, 1991) бабочкам хлопковой совки свойственна очень высокая плодовитость, которая при благоприятных обстоятельствах достигает 1000 яиц в среднем и выше, а максимально может превышать 4000 яиц/особь (Hardwick, 1965; Silva et al., 2018; Jafari et al., 2023).

В-четвертых, хлопковая совка при неблагоприятных условиях для развития, например, при наступлении высоких летних температур способна уходить в факультативную диапаузу (Liu et al., 2006).

Таким образом, чрезвычайно высокий адаптивный потенциал хлопковой совки, позволяющий ей успешно обитать в самых разных условиях, в том числе в агроценозах, формируется за счет нескольких факторов. А именно: необычайно широкая полифагия гусениц, очень высокая плодовитость, невероятная мобильность и вариативное поведение при выборе кормовых растений у имаго, а также способность генерировать факультативную диапаузу на стадии куколки (Fitt, 1989).

Помимо этого, хлопковая совка хорошо известна производителям сельскохозяйственной продукции своей способностью быстро вырабатывать резистентность к синтетическим инсектицидам, используемым для борьбы с ней (Forrester et al., 1993; Сухорученко, 1996; McCaffery, 1998; Kranthi et al., 2002; Aggarwal et al., 2006; Ballari, Udikeri, 2022). Поэтому неудивительно, что в

странах, где практикуется возделывание устойчивых к хлопковой совке трансгенных Bt культур, ведется постоянный мониторинг динамики частот генов резистентности у вредителя к токсинам *Bacillus thuringiensis* (Akhurst et al., 2003; Mahon et al., 2007; Ruan et al., 2024).

Вольтинность

Параллельно с продвижением насекомого на север отмечалось также нарастание вредоносности хлопковой совки в пределах традиционных зон обитания, что в большинстве случаев было вызвано увеличением числа развивающихся в течение сезона поколений, т.е. обусловлено изменением вольтинности. Так, если в начале 50-х гг. прошлого века на Северном Кавказе доминировал моновольтинный цикл развития вредителя (Горышин, 1958), то в настоящее время здесь развивается, как правило, уже три поколения в сезоне (Фефелова, Фролов, 2007; Ченикалова, Коломыцева, 2021). При этом вопрос о том, сколько в той или иной местности у хлопковой совки формируется поколений за сезон, не столь прост, как может показаться на первый взгляд, в том числе из-за того, что границы между поколениями у этого насекомого нередко сильно перекрываются (Tripathi, Singh, 1991; Nibouche, 1998), но не только по этой причине. Так, в статье Н.А. Саранцевой с коллегами (2014) сообщается, что при проведении феромониторинга хлопковой совки в Рамонском районе Воронежской области отмечается три пика лёта имаго вредителя, причем во время первого пика лёта бабочек (конец мая – июнь) отлавливались только единичные экземпляры, а гусеницы вовсе не обнаруживались. Также в этой статье говорится о том, что «второе и третье поколения вредителя при продолжительном периоде лёта бабочек накладываются одно на другое и лёт этих поколений не всегда четко разграничен». Очевидно, что для того чтобы уверенно судить о вольтинности популяции насекомых в какой-либо местности, помимо материалов по мониторингу имаго в природе необходимо также представить результаты наблюдений за развитием насекомого на протяжении его жизненного цикла в сезоне, что в случае хлопковой совки требует определенных усилий, учитывая вариативность предпочтений растений-хозяев для развития.

Соответственно, другим обязательным условием для подтверждения вольтинности локальной популяции должна явиться количественная оценка тепловых ресурсов, которыми располагает данная территория, для того чтобы их хватило для завершения развития насекомыми того или иного числа генераций за сезон (Dahi, 2007; El-Mezaayen, Ragab, 2014). В своей публикации, посвященной оценке вольтинности хлопковой совки в Луганске, А.В. Кузьминский и В.П. Федоренко (2014) показали, что в этом регионе климатические условия обеспечивают теплом развитие, как правило, лишь одного полного поколения насекомых в сезоне, тогда как второе, чаще всего, не успевает завершить свое развитие.

Учитывая, что Луганск расположен в 340 км к югу от Воронежа, становится очевидным, что имаго одного или даже двух учетных феромониторингом в Воронежской области пиков лёта из трех обнаруженных скорее всего представляют собой мигрантов с юга. В то же время, поскольку весенними

учетами куколки хлопковой совки в том или ином количестве ежегодно обнаруживаются во всех областях Центрально-Черноземного региона (ЦЧР) России (Обзор фитосанитарного состояния ..., 2024; Обзор фитосанитарного состояния..., 2023, а также обзоры за другие годы, начиная с 2013 г.), становится очевидным, что успешная перезимовка куколок в регионе в том или ином количестве все же происходит.

Климатический ареал и его модельное описание

О роли погодно-климатических факторов в жизненном цикле хлопковой совки

Накопленная отечественными специалистами информация убедительно свидетельствует о ключевой роли условий среды, особенно погодно-климатических факторов, в обеспечении развития хлопковой совки в ее ареале (Кожанчиков, 1938; Родд, 1955; Горышин, 1958; Бориско, 1961; Комарова, 1964; Ларченко, 1968; Комарова и др., 1971; Кузнецова, 1972; Красова, 1973; Парулава, 1985; Казанок, 2009; Хромова, 2011, и др.). Кроме того, немало данных о ведущей роли этих факторов, в первую очередь температуры, было опубликовано также зарубежными авторами (Twine, 1978; Maelzer, Zalucki, 1999; Jallow, Matsumura, 2001; Liu et al., 2006; Chatar et al., 2010; Mironidis, Savopoulou-Soultani, 2010; Chen et al., 2014; Huang, Li, 2015; Dalal, Arora, 2016; Huang, 2021; Varpatla et al., 2022). В результате удалось установить, что в жизненном цикле хлопковой совки существует несколько критических периодов, во время которых численность вредителя может сильно меняться в зависимости от того, насколько благоприятно складываются условия среды для развития насекомых (Фефелова, 2007). Среди таких периодов выделяются, в частности, начало питания гусениц после выхода из яиц, период завершения питания гусениц осенью, зимовка куколок, вылет имаго из куколок после зимовки. Так, было установлено, что промерзание почвы, особенно при повышенной влажности, способствует высокой смертности зимующих куколок вредителя (Хромова, 2011; Говоров и др., 2013), и именно этот фактор считается одним из наиболее серьезных препятствий постоянному обитанию вредителя на севере Европы (Lammers, MacLeod, 2007).

Очевидно, что условия обитания в высоких широтах требуют от хлопковой совки достаточно жесткого выбора между следованием одной из этих двух альтернативных стратегий: либо зимовать в стадии куколок в местах питания гусениц, рискуя погибнуть от промерзания почвы, либо до завершения сезона эмигрировать в стадии имаго в более южные местообитания, подходящие для перезимовки потомства, затратив немало энергии на миграционный перелёт. Здесь следует заметить, что механизмы, стимулирующие миграционное поведение хлопковой совкой, все еще остаются малоизученными, хотя предполагается, что в их число входят метеорологические факторы, фотопериод, присутствие и состояние растений-хозяев (Jones et al., 2019).

Гораздо больше информации накоплено относительно траекторий и маршрутов миграций, которые изучались в том числе с помощью радарной техники в Австралии (Zalucki et al., 1986; Gregg et al., 1995; Rochester et al., 1996; Fitt, Cotter, 2005), Китае (Feng et al., 2004; 2005; 2009) и Индии (Pedgley et al., 1987; Riley et al., 1992). Эти траектории и маршруты в ряде случаев носят закономерный пространственно-временной характер.

К сожалению, о миграциях хлопковой совки в условиях России практически ничего неизвестно, и пока по этой теме опубликована всего одна статья, в которой представлены результаты изучения ДНК-полиморфизма краснодарской популяции вредителя по двум микросателлитным локусам (Киль, 2010). Впрочем, вне зависимости от того, где, как и какие альтернативные стратегии использует хлопковая совка при освоении ЦЧР России, т.е. обитают ли там особи постоянно или же ежегодно местное население в той или иной степени пополняется мигрантами с юга, фактом является поддерживаемая из года в год на высоком уровне вредоносность хлопковой совки на возделываемых в ЦЧР сельскохозяйственных культурах. Соответственно, эта территория вполне правомерно была включена в современный ареал вредителя при его картировании в рамках составления Агроатласа (Афонин и др., 2008).

Моделирование климатического ареала хлопковой совки

Вопросы моделирования климатического ареала вредителей сельскохозяйственных растений стали привлекать большее внимание исследователей по мере изменений современного климата – см., например, (Попова, Попов, 2013). Были рассмотрены, в частности, такие вредители, как итальянский прус и колорадский жук.

Процесс развития особей хлопковой совки *H. armigera*, в частности число поколений в сезоне, определяется прежде всего гидротермическими условиями местности и контролируется реакцией насекомых на продолжительность фотопериода (Mironidis, Savopoulou-Soultani, 2012; Mironidis, 2014). В литературе обнаруживается лишь несколько публикаций, посвященных требованиям хлопковой совки к термическим условиям её развития, которые оцениваются суммами эффективных температур (СЭТ). Большая часть таких работ была выполнена при содержании насекомых при постоянных температурах в лабораторных условиях.

Так, из упомянутой в статье (Nietschke et al., 2007) базы данных удастся узнать, что пороги развития яиц, гусениц, предкуколок, куколок и в целом за периодот яйца до имаго для египетской популяции хлопковой совки оценивались значениями 14.17°, 12.63°, 14.81°, 14.65° и 13.87°C, а СЭТ, соответственно, составили 30.33, 199.14, 26.45, 146.93 и 403.49°C·сут.

Далее, значения температурных порогов развития для популяции из Японии оказались для яиц равными 10.8°, для гусениц 13.6°, куколок 14.6° C, а СЭТ, соответственно, оценивались 45.5, 200.0 и 142.9°C·сут (Qureshi et al., 1999).

Полученные в условиях Словакии оценки температурных параметров развития хлопковой совки оказались существенно отличными от указанных выше: при порогах развития для яиц 14.8° , для гусениц 11.3° , и для куколок 8.2°C , СЭТ, соответственно, составили 64.1, 344.8 и $222.2^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$. Минимальный порог развития в целом для генерации был оценен 11.5°C , а СЭТ оказалась равной $625.0^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$ (Barteková, Praslička, 2006).

Важно отметить, что развитие хлопковой совки обнаруживает нелинейную зависимость от температуры (Foley, 1981; Mironidis, 2014; Mironidis, Savopoulou-Soultani, 2014), так что значения температурных порогов и СЭТ могут существенно меняться в зависимости от того, в каком диапазоне температур росли насекомые (Mironidis, Savopoulou-Soultani, 2014; Fathipour, Sedaratian, 2013). Именно поэтому полученные в естественных условиях обитания хлопковой совки данные о ее потребностях в тепле имеют намного большую ценность для моделирования. Приведем несколько имеющихся подобных оценок.

Так, согласно данным, полученным К.И. Ларченко (1968) в условиях Узбекистана, порог развития хлопковой совки был оценен значением 11°C , а СЭТ, необходимые для развития, составили для яйца $50^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$, гусениц – $300^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$, куколок – $200^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$, и на весь цикл развития – $550^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$ (для расчетов были использованы среднедекадные значения температур, которые получали с ближайших метеорологических станций). Было также установлено, что указанные термические требования хлопковой совки для развития сохраняют свое постоянство в широком диапазоне значений влажности (40–85%) (Ларченко, 1968).

Выполненные в Краснодарском крае наблюдения за развитием хлопковой совки (Фефелова, 2007) подтвердили, что указанное К.И. Ларченко (1968) значение СЭТ $550^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$ при пороге 11°C позволяет надежно прогнозировать сроки развития местной популяции вредителя.

И, наконец, в публикации А.В. Кузьминского и В.П. Федоренко (2014) сообщается, что в окрестностях Луганска развитие одного поколения хлопковой совки требует СЭТ около $500^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$ при пороге 10°C . К сожалению, в этой статье не представлена какая-либо информация о том, как осуществлялись расчеты пороговых значений температуры, а также отсутствуют результаты проверки СЭТ на валидность с использованием сторонних данных.

В данной работе при построении климатического ареала хлопковой совки нами были использованы предложенные К.И. Ларченко (1968) значения СЭТ и температурного порога для развития генерации вредителя, равные соответственно $550^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$ и 11°C . Эти оценки прошли соответствующую проверку на валидность в широком диапазоне природно-климатических условий (Ли, 1998; Фефелова, 2007; Церковная, Черная, 2017) и упоминаются в Агроатласе в качестве важнейших экологических параметров этого вредителя (Чумаков, Кузнецова, 2008).

Для установления того, принадлежит ли заданная точка географического пространства климатическому ареалу вида в условиях климата определенного отрезка времени (в данной работе – некоторого десятилетия) исполь-

зовался параметр $p \in [0, 1]$. Это – теоретическое значение частоты лет в условиях этого климата, в которые требование к значению СЭТ (см. выше) выполняется. Считается, что если p превышает пороговое значение p_0 , то рассматриваемая точка принадлежит климатическому ареалу. В качестве значения p_0 в данном случае выбрано 0.5, что означает, что состояние среды чаще соответствует требованиям вида, чем не соответствует. Выбор этого значения также косвенно отражает способность хлопковой совки ситуационно мигрировать, а также уходить в факультативную диапаузу в случае неблагоприятной климатической ситуации.

Однако значение параметра p недоступно для непосредственного измерения. Ведь речь идет о климатических данных конкретного десятилетия. О выполнении соотношения $p > p_0$ можно сделать лишь вероятностное заключение на основании числа лет k из общего числа лет N в рассматриваемом отрезке времени, в которые требование вида к климату выполняется. Если анализируется модельный, расчетный климат, то N – общее число лет во всех имеющихся реализациях климата рассматриваемого отрезка времени. Алгоритмы получения оценки вероятности P того (уверенности в том), что выполнения соотношения $p > p_0$, изложен в работах (Семенов и др., 2020; Ясюкевич, Богданович, 2021; Добролюбов и др., 2023; Богданович, Семенов, 2023). При расчетах вероятности P использовался байесовский подход.

Для оценки климатического ареала *H. armigera* в России были использованы климатические данные, предоставленные Климатическим центром Росгидромета (КЦР). Эти данные – значения среднемесячной температуры воздуха в приповерхностном слое и месячной суммы осадков – основаны на расчетах, выполненных региональной климатической моделью Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО) (Школьник, Ефимов, 2015). Модельные оценки климата отражают сценарий RCP8.5, предполагающий сильное антропогенное воздействие на климатическую систему Земли в XXI веке, и сценарий RCP4.5, отражающий умеренное воздействие. Нами были использованы данные за 1990-1999 гг., 2030-2039 гг. и 2050-2059 гг. Для каждого из этих десятилетий климат был представлен 50 реализациями.

В эти массивы расчетных данных были внесены поправки, чтобы для базового периода 1990-1999 гг. уменьшить расхождения с данными мониторинга климата CRU TS v. 4.04 (Harris et al., 2020). Полученный скорректированный набор данных обозначается как КЦР^а ("а" означает "с поправками", "adjusted"). КЦР^а4.5 и КЦР^а8.5 относятся к климатам, рассчитанным в условиях сценариев RCP4.5 и RCP8.5 соответственно. Более подробно о внесенных поправках см. статью А.Ю. Богдановича и соавторов (2021).

Результаты расчета климатического ареала и обсуждение

На рис. 1 представлен результат расчета климатического ареала хлопковой совки для климата 1990-1999 гг., по данным КЦР^а. Балльные и вербальные характеристики вероятности P принадлежности точки географического

пространства климатическому ареалу, а также цветовое отображение, следующие (Богданович и др., 2021):

- 4 – практически достоверно, ($0.99 < P \leq 1.0$], темно-коричневый цвет;
- 3 – весьма вероятно, ($0.90 < P \leq 0.99$], коричневый цвет;
- 2 – вероятно, ($0.66 < P \leq 0.90$], темно-желтый цвет;
- 1 – средне-вероятно, ($0.33 < P \leq 0.66$], желтый цвет.

Белый цвет используется для маловероятных точек ($P \leq 0.33$). Светло-серый цвет обозначает отсутствие данных в используемой климатической базе.

Такой метод отображения результатов анализа соответствует стандартам, применяемым в докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата – МГЭИК (Mastrandrea et al., 2010).

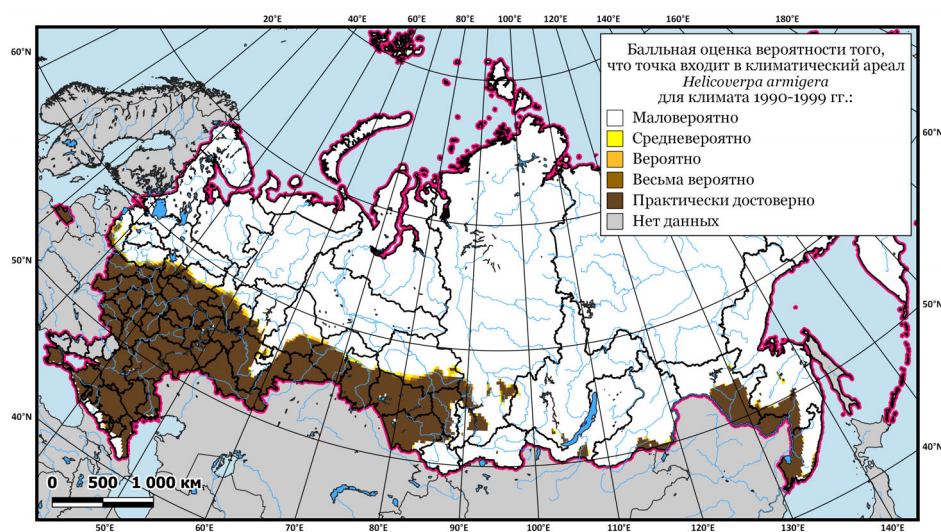


Рисунок 1. Балльная оценка вероятности того, что точка географического пространства принадлежит климатическому ареалу *H. armigera* на территории России, соответствующему климату КЦР^а для 1990-1999 гг.

Figure 1. Scores of the probability that a point in geographic space belongs to the climatic range *H. armigera* on the territory of Russia corresponding to the КЦР^а climate conditions for 1990-1999

Сопоставление результата, представленного на рис. 1, с данными, представленными в «Агроатласе...» (Чумаков, Кузнецова, 2008) (рис. 2), показывает значительное их сходство. Основные различия связаны с тем, что наша оценка основывается на вероятностных характеристиках вхождения точки в ареал, в то время как в «Агроатласе...» изображены зоны вредоносности, которые отображают фактически наблюдавшиеся случаи, сведения о которых были взяты из литературных источников.

Согласно рис. 1, климатический ареал хлопковой совки не доходит до высокогорий Северного Кавказа, а также до 59° с.ш. Это отличие от ситуации, приведенной на рис. 2, может объясняться тем, что хотя фактически условия климата могут не подходить для развития поколения хлопковой совки, но в

результате миграции во время жизни одного из поколений данный вредитель мог наблюдаться в этих локациях.

На юге Дальнего Востока, наоборот, климатический ареал шире фактического, представленного на рис. 2, и, помимо Приморского края, Еврейской автономной области и Амурской области, захватывает еще и юг Хабаровского края. Такое различие скорее всего обусловлено очень неблагоприятным для развития хлопковой совки в регионе сочетанием погодно-климатических факторов, в том числе избыточного увлажнения, и относительно низких летних температур, чье негативное воздействие на динамику численности вредителя хорошо известно (Murray, Zalucki, 1990; Maelzer et al., 1999; Казанок, 2009; Ченикалова и др., 2012; Huang, Li, 2015, и др.).

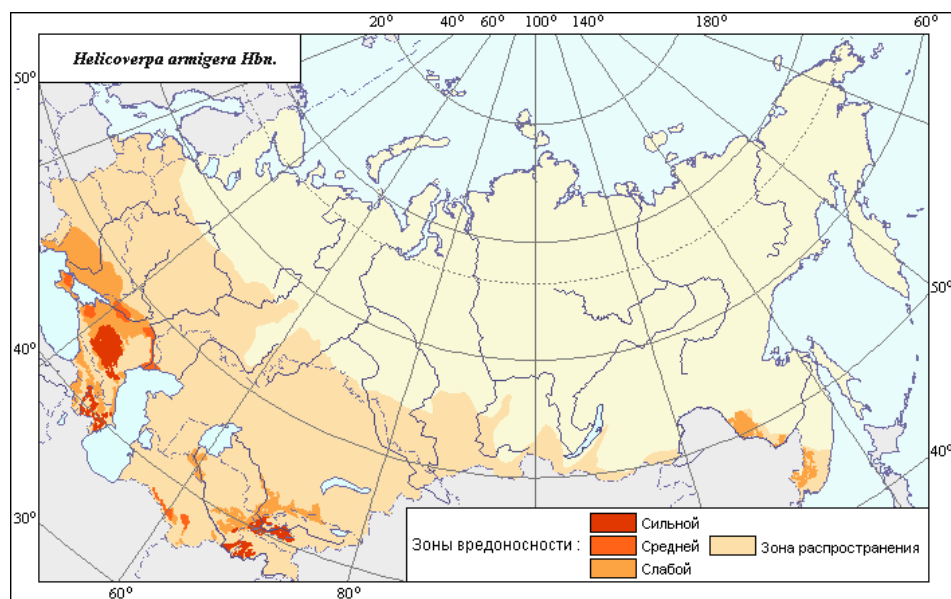


Рисунок 2. Ареал хлопковой совки, приводимой в «Агроатласе...» (Афонин и др., 2008, авторы статьи Чумаков, Кузнецова, 2008)

Figure 2. The area of the cotton bollworm given in "Agroatlas..." (Чумаков, Кузнецова, 2008)"

Рис. 3 и 4 демонстрируют изменения в балльных оценках вероятности принадлежности точки географического пространства климатическому ареалу *H. armigera* для климатов массива КЦР^a, соответствующих 2030-2039 гг. по сравнению с климатом 1990-1999 гг. (базовый период) в условиях сценариев RCP4.5 и RCP8.5.

При изменении климата введенные балльные оценки могут меняться следующим образом: (-4), (-3), (-2), (-1), 0, 1, 2, 3 и 4. Этим изменениям соответствуют соответственно следующие вербальные характеристики (Богданович и др., 2021): уменьшение (очень сильное, сильное, среднее, слабое), изменение не выявлено, увеличение (слабое, среднее, сильное, очень сильное). При картографировании этим значениям соответствуют следующие цвета: темно-зеленый, зеленый, светло-зеленый, салатовый, белый, розовый, красный, темно-красный, фиолетовый.

Результаты оценок, приведенные на рис. 3 и 4, указывают на то, что в Европейской части России и в Западной Сибири ареал климатический хлопковой совки в 2030-2039 гг. может продвинуться севернее 60° с.ш., чего не наблюдалось в базовый период. Продвижение границы на север также отмечается на юге Восточной Сибири и Дальнего Востока.

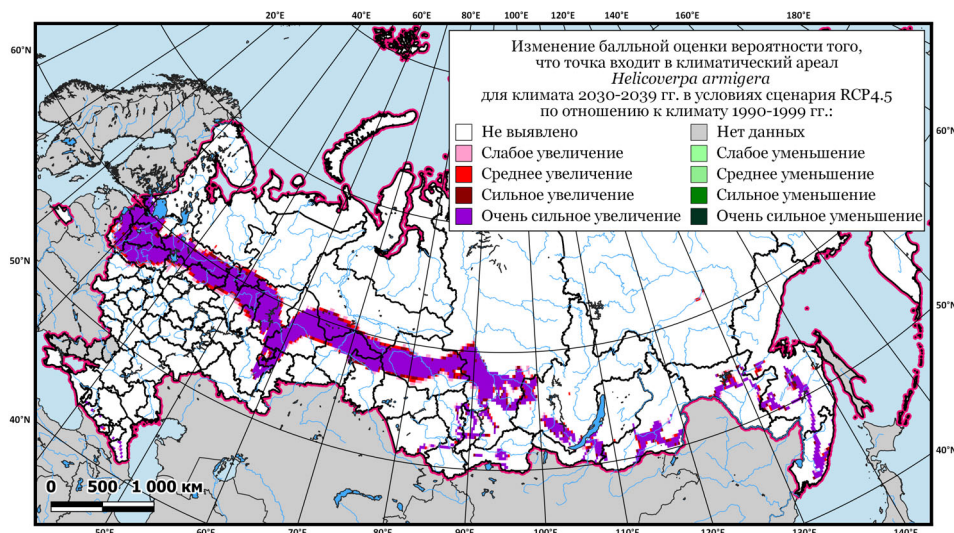


Рисунок 3. Изменение балльной оценки вероятности того, что точка географического пространства принадлежит климатическому ареалу *H. armigera*, соответствующему климату массива КЦР^а для 2030-2039 гг. по сравнению с климатом 1990-1999 гг. в условиях сценария RCP4.5

Figure 3. The changes in the probability scores that a point of geographical space belongs to the climatic range of *H. armigera* under the КЦР^а climate conditions for 2030-2039 as compared to the 1990-1999 climate under RCP4.5 scenario

Аналогично, рис. 5 и 6 демонстрируют изменения климатического ареала хлопковой совки в условиях климатов, соответствующих 2050-2059 гг., в условиях сценариев RCP4.5 и RCP8.5. Как показывают эти рисунки, например, в условиях сценария RCP8.5 в климатический ареал хлопковой совки могут войти южные районы Республики Коми, Архангельской области, Республики Карелия, значительная часть Томской области, а также южные части Ханты-Мансийского АО, Сибирского и Дальневосточного федеральных округов.

В климатическом ареале хлопковой совки может появиться обширная область на юго-востоке территории Республики Саха (Якутия). Тем не менее значительная удаленность этого обособленного участка, который соответствует климатическим критериям, от основной, более целостной части ареала, расположенной южнее, и суровые зимние условия вызывают сомнения относительно возможности успешного заселения его хлопковой совкой и перезимовки.

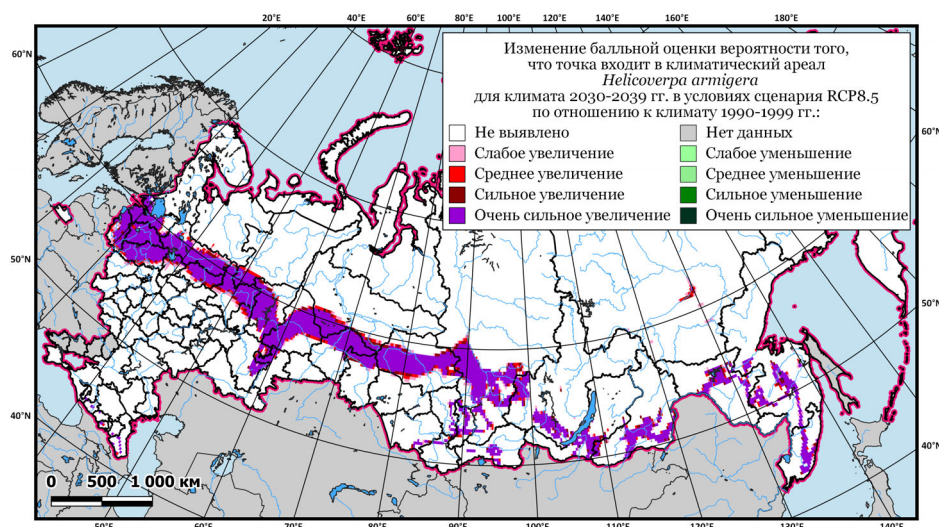


Рисунок 4. Изменение балльной оценки вероятности того, что точка географического пространства принадлежит климатическому ареалу *H. armigera*, соответствующему климату массива КЦР^а для 2030-2039 гг. по сравнению с климатом 1990-1999 гг. в условиях сценария RCP8.5

Figure 4. The changes in the probability scores that a point of geographical space belongs to the climatic range of *H. armigera* under the КЦР^а climate conditions for 2030-2039 as compared to the 1990-1999 climate under RCP8.5 scenario

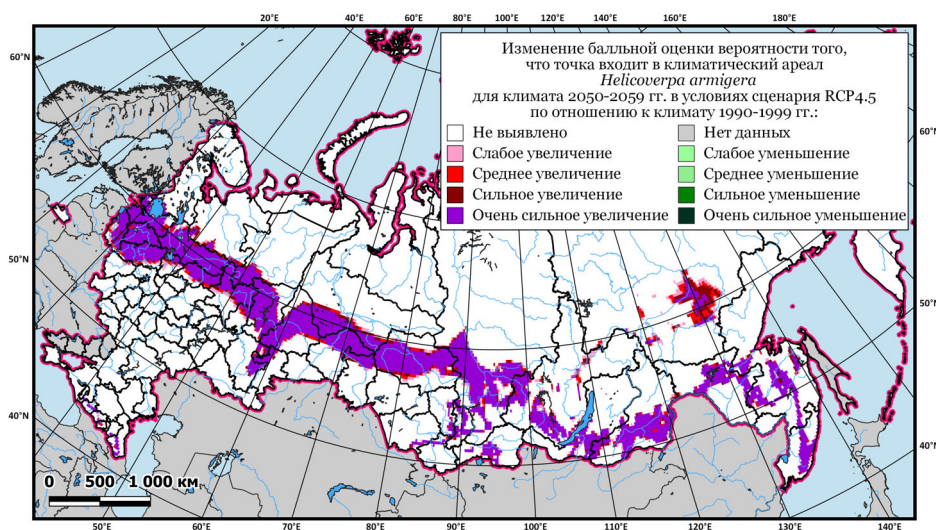


Рисунок 5. Изменение балльной оценки вероятности того, что точка географического пространства принадлежит климатическому ареалу *H. armigera*, соответствующему климату массива КЦР^а для 2050-2059 гг. по сравнению с климатом 1990-1999 гг. в условиях сценария RCP4.5

Figure 5. The changes in the probability scores that a point of geographical space belongs to the climatic range of *H. armigera* under the КЦР^а climate conditions for 2050-2059 as compared to the 1990-1999 climate under RCP4.5 scenario

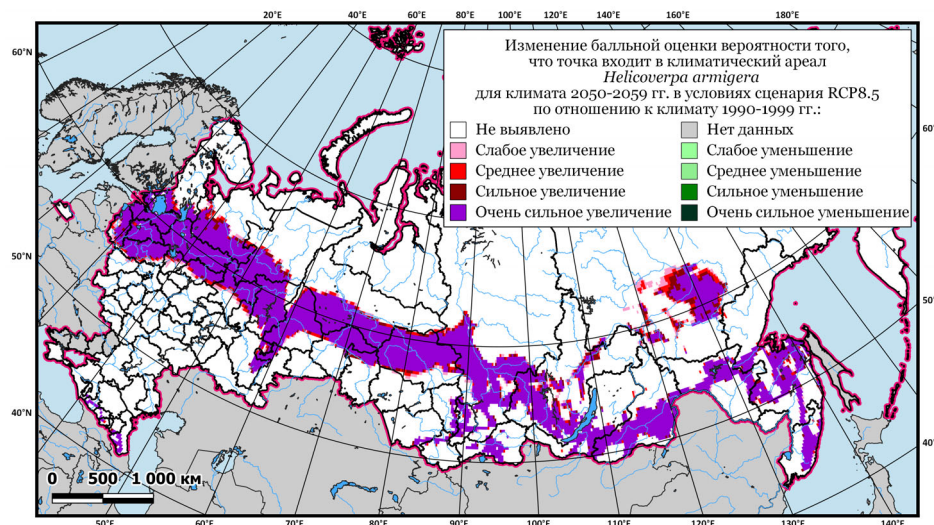


Рисунок 6. Изменение балльной оценки вероятности того, что точка географического пространства принадлежит климатическому ареалу *H. armigera*, соответствующему климату массива КЦР^а для 2050-2059 гг. по сравнению с климатом 1990-1999 гг. в условиях сценария RCP8.5

Figure 6. The changes in the probability scores that a point of geographical space belongs to the climatic range of *H. armigera* under the КЦР^а climate conditions for 2050-2059 as compared to the 1990-1999 climate under RCP8.5 scenario

Закключение

При изменениях климата в условиях рассмотренных выше сценариев семейства RCP антропогенного воздействия на климатическую систему Земли в XXI веке климатический ареал хлопковой совки на территории России продвинется существенно на север, возможно даже севернее 60° с.ш. Такое распространение может быть реализовано лишь на тех территориях, где будут расти в естественных условиях или культивироваться кормовые растения – обычные для вредителя или же те, которым он адаптируется. Хотя в настоящее время большинство повреждаемых хлопковой совкой сельскохозяйственно-значимых культур возделываются преимущественно южнее этих широт, уже сейчас многие хозяйства на этих территориях выращивают такую излюбленную вредителем культуру как кукуруза, которая сможет обеспечивать кормовой базой дальнейшее продвижение вредителя на север.

Поскольку возделывание кукурузы в северных регионах страны в первую очередь лимитируется дефицитом тепла (Панфилов, 2014; Зезин, Панфилов, 2017; Панфилов и др., 2022), селекционные учреждения нашей страны, в том числе Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко, Всероссийский НИИ кукурузы, НПО «КОС-МАИС», НПО «Семеноводство Кубани», «Росагротрейд», ССЦ «Отбор» и другие ведут активную и планомерную работу по селекции кукурузы на скороспелость (Сотченко, 2015; Ильин, и др., 2017;

Давыдова и др., 2019; Сотченко, Сотченко, 2021). В результате этой работы ультраранние и раннеспелые гибриды отечественной селекции удается успешно выращивать на зерно в регионах страны, характеризующихся достаточно суровыми климатическими условиями, в том числе на Урале и в Западной и Восточной Сибири (Елисеев, Елисеев, 2015; Кравченко, 2015; Зезин, Панфилов, 2017; Зезин и др., 2018; Зезин, Намятов, 2018; Свечников, Соколова, 2018; Панфилов и др., 2022), причем как по зерновой продуктивности, так и по уборочной влажности зерна зарубежные гибриды, как правило, уступают российским (Панфилов, 2014; Иванова, 2018а). Так, например, лидирующий по скороспелости (Гилев и др., 2014; Зезин, Намятов, 2018; Иванова, 2018а), а потому и завоевавший популярность у производителей кукурузы (Коренева, 2020) гибрид Кубанский 101 СВ селекции НПО «КОС-МАИС» и Института агроэкологии – филиала Челябинской государственной агроинженерной академии способен формировать урожай в условиях северной лесостепи Зауралья на уровне 6.1 т зерна с 1 га (Иванова, 2018b).

Помимо кукурузы хлопковая совка также способна найти себе пропитание и на других культурах, если учесть ее очень широкую многоядность и, особенно, ее способность к переходу на питание новыми растениями-хозяевами, как культурными, так и дикорастущими, которые обильнее всего произрастают в зоне обитания вредителя. Таким образом, по-видимому фактор кормового растения не будет надежно лимитировать проникновение хлопковой совки на север. Расширение ареала и зоны вредоносности этого насекомого к северу в первую очередь будет лимитироваться дефицитом летнего тепла, необходимого для развития насекомого.

Во вторую очередь, распространение хлопковой совки к северу вероятнее всего будет ограничено неблагоприятными условиями перезимовки куколок, т.е. суровыми зимами с глубоким промерзанием почвы. Однако, в этом отношении также важно иметь ввиду возможность преодоления негативного эффекта этого лимитирующего фактора за счет периодических миграций в южном направлении, что ранее уже обсуждалось.

Детальное моделирование динамики популяций хлопковой совки даже в масштабе одного региона – очень непростое дело, требующее учета, в том числе, немалого числа факторов, определяющих выживаемость куколок при зимовке, направления и характер миграций бабочек (Feng et al., 2010). В связи с этим данную статью следует рассматриваться лишь в качестве пусть и важной, но все же отправной точки для моделирования зон вредоносности этого в высшей степени опасного насекомого.

Благодарности

Авторы признательны за поддержку этой работы Росгидромету (*госзадание ФГБУ «ИГКЭ» № 169-00009-24-00, проект 3.1.2*) в части проведения модельных расчетов и картографического отображения результатов, а также ФГБУН «Институт географии РАН» (*госзадание FMWS-2024-0001, 1021051403088-5 «Изменения климата, их причины и последствия для окру-*

жающей среды и жизнедеятельности населения на территории России») в части экологического анализа.

Список литературы

АБ Центр (Экспертно-аналитический центр агробизнеса) (2024) *Российский рынок кукурузы в 2024 году: ключевые тенденции и прогнозы*, электронный ресурс, URL: <https://ab-centre.ru/news/rossiyskiy-rynok-kukuruzy-v-2024-godu-klyuchevye-tendencii-i-prognozy> (дата обращения 20 октября 2024 г.).

Афонин, А.Н., Грин, С.Л., Дзюбенко, Н.И., Фролов, А.Н. (ред.) (2008) *Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения*, электронный ресурс, URL: <http://www.agroatlas.ru> (дата обращения 26 октября 2024 г.).

Алфераки, С.Н. (1907) К фауне чешуекрылых Северного Кавказа (исправления и добавления), *Русское энтомологическое обозрение*, т. 7, № 4, с. 203-205.

Арестова, Н.О., Рябчун, И.О. (2015) Изменение вредной энтомофауны в виноградном агроценозе Нижнего Придонья, *Виноградарство и виноделие*, № 45, с. 48-49.

Артохин, К.С., Полтавский, А.Н., Матов, А.Ю., Щуров, В.И. (2017) *Совкообразные – вредители сельскохозяйственных культур и лесных насаждений*, Ростов-на-Дону: Foundation, 376 с.

Богачев, А.В. (1954) *Хлопковая совка и меры борьбы с ней*, Симферополь, Крымиздат, 52 с.

Богданович, А.Ю., Павлова, В.Н., Ранькова, Э.Я., Семенов, С.М. (2021) Влияние изменений засушливости в России в XXI веке на пригодность территорий для возделывания зерновых культур, *Фундаментальная и прикладная климатология*, № 1, с. 20-35, doi: 10.21513/2410-8758-2021-1-20-35.

Богданович, А.Ю., Семенов, С.М. (2023) Оценка климатических ареалов видов с использованием системы RANGES, в кн.: *Сборник тезисов докладов международной конференции «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования. Климат-2023»*, М., Физматкнига, с. 220-220.

Бориско, А.Е. (1961) *Основные особенности биологии хлопковой (кукурузной) совки Chloridea obsoleta F. на юге УССР и обоснование мероприятий по борьбе с нею*, Автореф. дис. ... канд. биол. наук, Одесса, 23 с.

Винклер, Н.Г. (1971) Фенология, стациальное распределение и динамика численности хлопковой совки на юге Таджикистана, *Труды Всесоюзного научно-исследовательского института защиты растений*, вып. 32, ч. 1, с. 87-100.

Гилев, С.Д., Цымбаленко, И.Н., Замятин, А.А., Панфилов, А.Э., Суслов, С.А. (2014) Зерновая кукуруза в Зауралье, в кн.: *Современные проблемы земледелия Зауралья и пути их научно обоснованного решения: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию Курганского НИИСХ и 100-летию Шадринского опытного поля, 24-25 июля 2014 г.*, Куртамыш: ООО «Куртамышская типография», с. 227-233.

Говоров, Д.Н., Живых, А.В., Проскурякова, М.Ю. (2013) Хлопковая совка – периодическая угроза сельскохозяйственным посевам, *Защита и карантин растений*, № 5, с. 18-20.

Горышин, Н.И. (1958) Экологический анализ сезонного цикла развития хлопковой совки (*Chloridea obsoleta* F.) в северных районах ее распространения, *Ученые записки Ленинградского государственного университета*, вып. 46, № 240, с. 3-20.

Давыдова, С.А., Вахания, В.И., Курасов, В.С. (2019) *Анализ состояния и перспективные направления развития селекции и семеноводства кукурузы, научный аналитический обзор*, М., ФГБНУ «Росинформагротех», 92 с.

Добролюбов, Н.Ю., Семенов, С.М., Володин, Е.М., Богданович, А.Ю. (2023) Алгебраический алгоритм статистической оценки параметра биномиального распределения и пример его применения в одной глобальной геоинформационной задаче прикладной климатологии, *Метеорология и гидрология*, вып. 10, с. 16-24, doi: 10.52002/0130-2906-2023-10-16-24.

Елисеев, С.Л., Елисеев, А.С. (2015) Вызревание зерна кукурузы в северных районах кукурузосеяния, *Пермский аграрный вестник*, № 1 (9), с. 11-18.

Зезин, Н.Н., Намятов, М.А. (2018) Результаты внедрения зерновой технологии возделывания кукурузы на Среднем Урале, *Кормопроизводство*, № 3, с. 11-15.

Зезин, Н.Н., Намятов, М.А., Пелевин, В.А. (2018) Подбор гибридов кукурузы и оптимальные сроки их уборки на Среднем Урале, *АПК России*, т. 25, № 1, с. 37-44.

Зезин, Н.Н., Панфилов, А.Э. (ред.) (2017) *Кукуруза на Урале. Монография*, Екатеринбург, Уральский НИИСХ, Уральское изд-во, 202 с.

Иванова, Е.С. (2018a) Эффективность возделывания кукурузы российской и зарубежной селекции в условиях Зауралья, *АПК России*, т. 25, № 2, с. 223-227.

Иванова, Е.С. (2018b) Формирования зерновой продуктивности скороспелой кукурузы в условиях Зауралья, *Известия высших учебных заведений. Уральский регион*, № 1, с. 130-135.

Ильин, В.С., Логинова, А.М., Губин, С.В., Гетц, Г.В. (2017) Экологическое испытание новых гибридов кукурузы, созданных с участием омских инбредных линий, с использованием селекционных индексов, *Успехи современного естествознания*, № 12, с. 61-65.

Казанок, Т.С. (2009) *Биоэкологические особенности хлопковой совки в агроценозе сахарной кукурузы и меры борьбы с ней в условиях Западного Предкавказья*, Автореф. дис. ... канд. сельскохозяйственных наук, Воронеж, 25 с.

Киль, В.И. (2010) ДНК-полиморфизм и генетическое разнообразие популяций яблонной плодовой и хлопковой совки по микросателлитным локусам, *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, № 62, с. 304-313.

Кожанчиков, И.В. (1938) Эксперименты и наблюдения по влиянию тепла на развитие куколок хлопковой совки *Heliothisobsoleta* F., *Защита растений*, № 16, с. 27-34.

Кожанчиков, И.В. (1941) О некоторых типах ареала распространения вредных насекомых, *Известия Высших курсов прикладной зоологии и фитопатологии*, № 12, с. 222-234.

Комарова, О.С. (1964) Влияние температуры на зимовку куколок хлопковой совки, *Зоологический журнал*, т. 43, № 10, с. 1467-1472.

Комарова, О.С., Кузнецова, М.С., Никишина, Е.С. (1971) Влияние температуры и длины дня на развитие гусениц и диапаузу куколок хлопковой совки, *Труды Всесоюзного научно-исследовательского института защиты растений*, вып. 32, ч. 1. с. 75-78.

Коренева, А. (2020) *Самые популярные гибриды кукурузы в России в 2020 году*, <https://agrobook.ru/blog/user/aleksandra-koreneva/samye-populyarnye-gibridy-kukuruzy-v-rossii-v-2020-godu> (дата обращения 26 октября 2024 г.).

Кравченко, В.В. (2015) *Продуктивность ультраранних и раннеспелых гибридов кукурузы и оптимизация сроков их уборки на силос в условиях Среднего и Южного Урала*, Автореф. дис. ... канд. сельскохозяйственных наук, Тюмень, 18 с.

Красова, Л.Ф. (1973) *Хлопковая совка (Heliothis armigera Hbn.) в Дагестане и обоснование мероприятий по борьбе с ней*, Автореф. дис. ... канд. сельскохозяйственных наук, Л., 19 с.

Кузнецова, М.С. (1971) Цикл развития хлопковой совки на кукурузе в Ставропольском крае, *Труды Всесоюзного научно-исследовательского института защиты растений*, вып. 32, ч. 1, с. 79-86.

Кузнецова, М.С. (1972) Влияние температурных и фотопериодических условий на реактивацию диапаузирующих куколок хлопковой совки *Chloridea obsoleta* F. (Lepidoptera, Noctuidae), *Энтомологическое обозрение*, т. 51, № 3, с. 520-527.

Кузьминский, А.В., Федоренко, В.П. (2014) Особенности развития хлопковой совки в северной Степи Украины, *Защита и карантин растений*, № 11, с. 36-37.

Ларченко, К.И. (1968) *Экология хлопковой совки и сроки борьбы с ней*, Ташкент: ФАН, 192 с.

Ли, Х. (1998) Экология и прогноз появления хлопковой совки в северо-западном Китае, *Известия Харьковского энтомологического общества*, т. 6, № 2, с. 147-149.

Матов, А.Ю., Кононенко, В.С. (2012) *Трофические связи гусениц совкообразных чешуекрылых фауны России (Lepidoptera, Noctuoidea: Nolidae, Erebidae, Euteliidae, Noctuidae)*, Владивосток: Дальнаука, 346 с.

Мухитдинов, С.М., Ботурова, З.Ф. (2019) Экология и контроль состояния хлопковой совки в агробиоценозе Кулябской зоны Таджикистана, *Наука и инновация*, № 4, с. 217-222.

Мухитдинов, С.М., Хушвахтова, Ш.Д. (2017) Особенности экологии хлопковой совки в новых структурах пашни долинных зон Таджикистана, *Защита и карантин растений*, № 6, с. 31-34.

Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2023 году и прогноз развития вредных объектов в 2024 году (2024) Под ред. Д.Н. Говорова и А.В. Живых, М., ФГБУ «Россельхозцентр», 1281 с.

Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2022 году и прогноз развития вредных объектов в 2023 году (2023) Под ред. Д.Н. Говорова и А.В. Живых, М., ФГБУ «Россельхозцентр», 267 с.

Панфилов, А.Э. (2014) Селекция кукурузы для севера: направления и тенденции, в кн.: *Современные проблемы земледелия Зауралья и пути их научно обоснованного решения: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию Курганского НИИСХ и 100-летию Шадринского опытного поля, 24-25 июля 2014 г.*, Куртамыш, ООО «Куртамышская типография», с. 233-240.

Панфилов, А.Э., Зезин, Н.Н., Овчинников, П.Ю. (2022) Биологическая продуктивность ультраранних гибридов кукурузы в различных почвенно-климатических зонах Уральского региона, *Аграрный вестник Урала*, № 03 (218), с. 35-47, doi: 10.32417/1997-4868-2022-218-03-35-47.

Парулава, Н.И. (1985) *Хлопковая совка (Helicoverpa armigera Hbn.) вредитель кукурузы, томатов, табака и меры борьбы с ней*, автореф. дис. ... канд. сельскохозяйственных наук, Тбилиси, 25 с.

Полоскина, Ф.М. (1962) Особенности развития и вредоносность хлопковой совки на кукурузе в Азербайджане, *Записки Ленинградского сельскохозяйственного института*, вып. 87, с. 119-123.

Попова Е.Н., Попов И.О. (2013) Климатические факторы, определяющие границы ареалов вредителей и возбудителей болезней сельскохозяйственных растений, и расчетные методы оценки изменения ареалов при изменении климата, *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, том 25, с. 177-206.

Родд, А.Е. (1955) Методика определения сроков развития хлопковой совки по температурным данным, *Социалистическое сельское хозяйство Азербайджана*, № 8, с. 60-63.

Свечников, А.К., Соколова, Е.А. (2018) Скорость развития гибридов кукурузы в условиях 2017 года в Республике Марий Эл, *Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства*, № 20, с. 81-83.

Семенов С.М., Попов И.О., Ясюкевич В.В. (2020) Статистическая модель для оценки формирования климатических угроз по данным мониторинга климата, *Метеорология и гидрология*, вып. 5, с. 59-65, doi: 10.3103/S1068373920050040.

Сигнализационное сообщение № 9 по Оренбургской области на 03.08.2016 г. Хлопковая совка (2016) Электронный ресурс, URL: <https://rosselhoccenter.com/index.php/56/7291-signalizatsionnoe-soobshchenie-9-poorenburgs-kaj-oblasti-na-03-08-2016g-khlopkovaya-sovka> (дата обращения: 23 октября 2024 г.).

Сигнализационное сообщение № 14. Хлопковая совка на нуте. 25 июля 2024 г. (2024) Электронный ресурс, URL: <https://rosselhoccenter.ru/ob-uchrezhdenii/filialy/privolzhskiy/samarskaya-oblast/signalizatsionnoe-soobshchenie-14-khlopkovaya-sovka-na-nute/> (дата обращения: 23 октября 2024 г.).

Сигнализационное сообщение Россельхозцентра от 23 августа 2022 г. № 7 Хлопковая совка (2022) Электронный ресурс, URL: <https://old.rosselhoccenter.ru/index.php/58/35849-signalizatsionnoe-soobshchenie-7-khlopkovaya-sovka-penzenskaya-oblast> (дата обращения: 23 октября 2024 г.).

Сигнализационное сообщение Россельхозцентра от 08 августа 2022 года № 13 Хлопковая совка (2022) Электронный ресурс, URL: <https://r54.tmbreg.ru/assets/files/Selskoe%20hoz/2021/Сигнал%20№13%20от%2008.08.2022%20г.%20хлопковая%20совка.pdf> (дата обращения: 23 октября 2024 г.).

Сигнализационное сообщение Россельхозцентра по Республике Татарстан от 29 июля 2020 г. № 22 Хлопковая совка (2020) Электронный ресурс, URL: <https://rshc.tatarstan.ru/index.htm/news/1795062.htm> (дата обращения: 23 октября 2024 г.).

Сингх, С.П. (1973) Изучение хлопковой совки в центральной зоне Краснодарского края, *Труды Кубанского сельскохозяйственного института*, № 47 (75), с. 80-84.

Соснина, М.А. (1935) Материалы к изучению *Chloridea obsoleta* F. В кн.: Материалы по вредителям и болезням хлопчатника, под ред. М.И. Кособуцкого, И.Н. Степанцева, Ташкент, Всесоюзный научно-исследовательский институт по хлопководству (СОЮЗНИХИ), с. 73-107.

Сотченко, В.С. (2015) Роль кукурузы в повышении продовольственной независимости страны, *Вестник Российской академии наук*, т. 85, № 1, с. 12-14.

Сотченко, В.С., Сотченко, Ю.В. (2021) Состояние и перспективы селекции и семеноводства кукурузы, *Кукуруза и сорго*, № 2, с. 5-11, doi: 10.25715/e3734-6035-8345-q.

Сухорученко, Г.И. (1996) Состояние проблемы резистентности вредителей хлопчатника к пестицидам в Средней Азии и Азербайджане в начале 90-х годов, *Энтомологическое обозрение*, т. 75, № 1, с. 3-15.

Уваров, Б.П. (1924) Вредители хлопчатника в Египте, Индии и Месопотамии, *Хлопковое дело*, № 9-10, с. 63-77.

Фефелова, Ю.А. (2007) *Факторы сезонной динамики численности хлопковой совки на Северо-Западном Кавказе в период низкой численности*, автореф. дис. ... канд. биол. наук, Санкт-Петербург – Пушкин, 19 с.

Фефелова, Ю.А., Фролов, А.Н. (2007) Факторы сезонной динамики численности хлопковой совки *Helicoverpa armigera* в Краснодарском крае, *Вестник защиты растений*, № 1, с. 47-52.

Фролов, А.Н. (2011) Современные направления совершенствования прогнозов и мониторинга, *Защита и карантин растений*, № 4, с. 15-20.

Фролов, А.Н., Фефелова, Ю.А. (2006) Динамика распределения яиц хлопковой совки и их смертность на кукурузе в Краснодарском крае, *Вестник защиты растений*, № 2, с. 34-40.

Хромова, Л.М. (2011) Влияние некоторых синоптических показателей на вредоносность хлопковой совки в Кабардино-Балкарии, *Аграрный вестник Урала*, № 8 (87), с. 12.

Церковная, В.С., Черная, В.П. (2017) Хлопковая совка в Приднестровье, в кн.: *Овощеводство и бахчеводство: исторические аспекты, современное состояние, проблемы и перспективы развития, Материалы III Международной научно-практической конференции (в рамках II научного форума «Неделя науки в Крутах – 2017», 13-14 марта 2017 г., с. Круты, Черниговская обл., Украина, в двух томах, т. 2, с. 337-342.*

Ченикалова, Е.В., Жигальцова, И.С., Вдовенко, Т.В. (2012) Хлопковая совка на Ставрополье, *Сборник научных трудов S World*, № 45 (4), с. 43-45.

Ченикалова, Е.В. (2016) Об изменении круга кормовых растений хлопковой совки, в кн.: *Материалы IX Международной научно-практической интернет-конференции «Актуальные вопросы энтомологии», Ставрополь, 16 мая 2016 г. Труды Ставропольского отделения Русского Энтомологического Общества*, с. 16-21.

Ченикалова, Е.В., Коломыцева, В.А. (2021) Хлопковая совка продвигается на север. Проблемы прогноза численности, *Защита и карантин растений*, № 2, с. 31-33.

Черкашин, В.Н., Малыхина, А.Н., Черкашин, Г.В. (2014) Хлопковая совка на полевых культурах, *Земледелие*, № 5, с. 35-36.

Черкашин, В.Н., Ченикалова, Е.В., Черкашин, Г.В., Коломышцева, В.А. (2019) Хлопковая совка – опасный вредитель полевых культур, *Вестник АПК Ставрополя*, № 3, с. 73-77.

Чумаков, М.А., Кузнецова, Т.Л. (2008) *Helicoverpa armigera* Hbn. – Хлопковая совка, под ред. А.Н. Афонин, С.Л. Грин, Н.И. Дзюбенко, А.Н. Фролов, *Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения* [DVD-версия], электронный ресурс, URL: http://www.agroatlas.ru/ru/content/pests/Helicoverpa_armigera/index.html (дата обращения 26 октября 2024).

Школьник, И.М., Ефимов, С.В. (2015) Региональная модель нового поколения для территории северной Евразии, *Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова*, № 576, с. 201-211.

Щеткин, Ю.Л. (1956) Хлопковая совка и меры борьбы с ней, *Труды Института зоологии и паразитологии АН Таджикской ССР*, т. 52, с. 3-58.

Юрченко, Е.Г., Подгорная, М.Е., Прах, С.В., Черкезова, С.Р. (2018) Эффективность микробиологических инсектицидов в контроле доминирующих вредителей садов и виноградников, *Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия*, т. 15, с. 91-100, doi: 10.30679/2587-9847-2018-15-91-100.

Ясюкевич, В.В., Богданович, А.Ю. (2021) Климатические предикторы для модельного описания климатических ареалов некоторых биологических видов и их изменений в условиях будущего климата, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 7, №. 1, с. 117-137.

Aggarwal, N., Brar, D.S., Basedow, T. (2006) Insecticide resistance management of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) and its effect on pests and yield of cotton in North India, *Journal of Plant Diseases and Protection*, vol. 113, no. 3, pp. 120-127.

Akhurst, R.J., James, W., Bird, L.J., Beard, C. (2003) Resistance to the Cry1Ac δ -endotoxin of *Bacillus thuringiensis* in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), *Journal of Economic Entomology*, vol. 96, no. 4, pp. 1290-1299, doi: 10.1093/jee/96.4.1290.

Ballari, H.S., Udikeri, S.S. (2022) Persisting resistance of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) to pyrethroid, organophosphate and carbamate insecticides, *Pakistan Journal of Zoology*, vol. 54, no. 4, pp. 1649-1656.

Bapatla, K.G., Singh, A.D., Sengottaiyan, V., Korada, R.R., Yeddula, S. (2022) Impact of climate change on *Helicoverpa armigera* voltinism in different agro-climatic zones of India, *Journal of Thermal Biology*, vol. 106, article number 103229, doi: 10.1016/j.jtherbio.2022.103229.

Barteková, A., Praslička, J. (2006) The effect of ambient temperature on the development of cotton bollworm (*Helicoverpa armigera* Hübner, 1808), *Plant Protection Science*, vol. 42, no. 4, pp. 135-138, doi: 10.17221/2768-PPS.

Barzman, M., Bàrberi, P., Birch, A.N.E., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Graf, B., Hommel, B., Jensen, J.E., Kiss, J., Kudsk, P., Lamichhane, J.R., Messéan, A., Moonen, A.C., Ratnadass, A., Ricci, P., Sarah, J.L., Sattin, M. (2015) Eight principles of integrated pest management, *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 35, pp. 1199-1215.

Bentivenha, J.P.F., Paula-Moraes, S.V., Baldin, E.L.L., Specht, A., da Silva, I.F., Hunt, T.E. (2016) Battle in the New World: *Helicoverpa armigera* versus *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae), *PLoS One*, vol. 11, no. 12, article number e0167182.

Chatar, V.P., Raghvani, K.L., Joshi, M.D., Ghadge, S.M., Deshmukh, S.G., Dalave, S.K. (2010) Population dynamics of pod borer, *Helicoverpa armigera* (Hubner) infesting chickpea, *International Journal of Plant Protection*, vol. 3, no. 1, pp. 65-67.

Chen, C., Xia, Q.W., Fu, S., Wu, X.F., Xue, F.S. (2014) Effect of photoperiod and temperature on the intensity of pupal diapause in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), *Bulletin of Entomological Research*, vol. 104, no. 1, pp. 12-18, doi: 10.1017/S0007485313000266.

Cordeiro, E.M.G., Pantoja-Gomez, L.M., de Paiva, J.B., Nascimento, A.R.B., Omoto, C., Michel, A.P., Correa, A.S. (2020) Hybridization and introgression between *Helicoverpa armigera* and *H. zea*: an adaptational bridge, *BMC Evolutionary Biology*, vol. 20, article number 61, doi: 10.1186/s12862-020-01621-8.

Cunningham, J.P., Jallow, M.F., Wright, D.J., Zalucki, M.P. (1998) Learning in host selection in *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), *Animal Behaviour*, vol. 55, no. 1, pp. 227-234, doi: 10.1006/anbe.1997.0600.

Cunningham, J.P., Zalucki, M.P., West, S.A. (1999) Learning in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae): a new look at the behaviour and control of a polyphagous pest, *Bulletin of Entomological Research*, vol. 89, no. 3, pp. 201-207, <https://doi.org/10.1017/S0007485399000310>.

Cunningham, J.P., West, S.A. (2008) How host plant variability influences the advantages to learning: a theoretical model for oviposition behaviour in Lepidoptera, *Journal of Theoretical Biology*, vol. 251, no. 3, pp. 404-410, <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2007.11.009>.

Dahi, H. (2007) Using heat accumulation and sex pheromone catches to predicate the American bollworm *Helicoverpa armigera* Hub. field generations, *Journal of Plant Protection and Pathology*, vol. 32, no. 4, pp. 3037-3044.

Dalal, P.K., Arora, R. (2016) Impact of temperature on food consumption and nutritional indices of tomato fruit borer, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Noctuidae: Lepidoptera), *Journal of Agrometeorology*, vol. 18, no. 1, pp. 62-67, doi: 10.54386/jam.v18i1.901.

Dent, D.R., Binks, R.H. (2020) *Insect pest management*, 3rd edition, CABI, 363 p.

El-Mezayyen, G.A., Ragab, M.G. (2014) Predicting the American bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) field generations as influenced by heat unit accumulation, *Egyptian Journal of Agricultural Research*, vol. 92, no. 1, pp. 91-99, doi: 10.21608/ejar.2014.154435.

EPPO (2024) *Helicoverpa armigera*. Last updated: 2024-04-15. EPPO datasheets on pests recommended for regulation, electronic resource, URL: <https://gd.eppo.int/taxon/HELIAR> (accessed 2024-10-11).

Farrow, R.A., Daly, J.C. (1987) Long-range movements as an adaptive strategy in the genus *Heliothis* (Lepidoptera: Noctuidae) – a review of its occurrence and detection in four pest species, *Australian Journal of Zoology*, vol. 35, no. 1, pp. 1-24, . doi: 10.1071/ZO9870001.

Fathipour, Y., Sedaratian, A. (2013) Integrated management of *Helicoverpa armigera* in soybean cropping systems. Chapter 9. In: *Soybean, Pest Resistance*, El-Shemy, H.A. (ed.), Rijeka, Croatia, InTech, pp. 231-280, doi: 10.5772/54522.

Feng, H., Gould, F., Huang, Y., Jiang, Y., Wu, K. (2010) Modeling the population dynamics of cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) over a wide area in northern China, *Ecological Modelling*, vol. 221, no. 15, pp. 1819-1830, doi: 10.1016/j.ecolmodel.2010.04.003.

Feng, H.Q., Wu, K.M., Cheng, D.F., Guo, Y.Y. (2004) Northward migration of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) and other moths in early summer observed with radar in northern China, *Journal of Economic Entomology*, vol. 97, no. 6, pp. 1874-1883, doi: 10.1093/jee/97.6.1874.

Feng, H.Q., Wu, K.M., Ni, Y.X., Cheng, D.F., Guo, Y.Y. (2005) Return migration of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) during autumn in northern China, *Bulletin of Entomological Research*, vol. 95, no. 4, pp. 361-370, doi: 10.1079/BER2005367.

Feng, H., Wu, X., Wu, B., Wu, K. (2009) Seasonal migration of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) over the Bohai sea, *Journal of Economic Entomology*, vol. 102, no. 1, pp. 95-104, doi: 10.1603/029.102.0114.

Fitt, G.P. (1989) The ecology of *Heliothis* species in relation to agroecosystems, *Annual Review of Entomology*, vol. 34, pp. 17-53, doi: 10.1146/annurev.en.34.010189.000313.

Fitt, G.P., Cotter, S.C. (2005) The *Helicoverpa* problem in Australia: biology and management. In: *Heliothis/Helicoverpa management: emerging trends and prospects for future research*, Sharma, H. (ed.), New Delhi, Oxford & IBH Publishing Co, pp. 57-74.

Foley, D.H. (1981) Pupal development rate of *Heliothis armiger* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) under constant and alternating temperatures, *Australian Journal of Entomology*, vol. 20, no. 1, pp. 13-20, doi: 10.1111/j.1440-6055.1981.tb00993.x.

Forrester, N.W., Cahill, M., Bird, L.J., Layland, J.K. (1993) Management of pyrethroid and endosulfan resistance in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Australia, *Bulletin of Entomological Research. Supplement Series*, no. 1, 132 p.

Gregg, P.C., Fitt, G.P., Zalucki, M.P., Murray, D.A.H. (1995) Insect migration in an arid continent. II. *Helicoverpa* spp. in eastern Australia. In: *Insect migration, tracking resources through space and time*, Drake, V.A., Gatehouse, A.G. (eds.), Cambridge, UK, Cambridge Univ. Press, pp. 151-172.

Haile, F., Nowatzki, T., Storer, N. (2021) Overview of pest status, potential risk, and management considerations of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) for U.S. Soybean Production, *Journal of Integrated Pest Management*, vol. 12, no. 1, article number 3, doi: 10.1093/jipm/pmaa030.

Hardwick, D.F. (1965) The corn earworm complex, *The Memoirs of the Entomological Society of Canada*, vol. 97, no. S40, pp. 5-247, doi: 10.4039/entm9740fv.

Harris, I., Osborn, T.J., Jones, P.D., Lister, D. (2020) Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset, *Scientific Data*, vol. 7, article number 109, doi: 10.1038/s41597-020-0453-3.

Helicoverpa armigera (cotton bollworm) (2021) CABI Compendium, 16 November 2021, CABI Head Office, Wallingford, UK, doi: 10.1079/cabicompium.26757 (accessed 2024-10-06).

Huang, J. (2021) Effects of climate change on different geographical populations of the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera, Noctuidae), *Ecology and Evolution*, vol. 11, no. 24, pp. 18357-18368, doi: 10.1002/ece3.8426.

Huang, J., Hao, H. (2020) Effects of climate change and crop planting structure on the abundance of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), *Ecology and Evolution*, vol. 10, no. 3, pp. 1324-1338, doi: 10.1002/ece3.5986.

Huang, J., Li, J. (2015) Effects of climate change on overwintering pupae of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), *International Journal of Biometeorology*, vol. 59, pp. 863-876, doi: 10.1007/s00484-014-0903-8.

Jafari, H., Habibpour, B., Hemmati, S.A., Stelinski, L.L. (2023) Population growth parameters of *Helicoverpa armigera* (Hübner) on various legume seeds reveal potential tolerance traits, *Sustainability*, vol. 15, no. 9, article number 7502, doi: 10.3390/su15097502.

Jallow, M.F.A., Matsumura, M. (2001) Influence of temperature on the rate of development of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), *Applied Entomology and Zoology*, vol. 36, no. 4, pp. 427-430, doi: 10.1303/aez.2001.427.

Jallow, M.F.A., Matsumura, M., Suzuki, Y. (2001) Oviposition preference and reproductive performance of Japanese *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), *Applied Entomology and Zoology*, vol. 36, no. 4, pp. 419-426, doi: 10.1303/aez.2001.419.

Jones, C.M., Parry, H., Tay, W.T., Reynolds, D.R., Chapman, J.W. (2019) Movement ecology of pest *Helicoverpa*: implications for ongoing spread, *Annual Review of Entomology*, vol. 64, pp. 277-295, doi: 10.1146/annurev-ento-011118-111959.

Kranthi, K.R., Jadhav, D.R., Kranthi, S., Wanjari, R.R., Ali, S.S., Russell, D.A. (2002) Insecticide resistance in five major insect pests of cotton in India, *Crop Protection*, vol. 21, no. 6, pp. 449-460, doi: 10.1016/S0261-2194(01)00131-4.

Kriticos, D.J., Ota, N., Hutchison, W.D., Beddow, J., Walsh, T., Tay, W.T., Borchert, D.M., Paula-Moreas, S.V., Czapak, C., Zalucki, M.P. (2015) The potential distribution of invading *Helicoverpa armigera* in North America: is it just a matter of time?, *PloS One*, vol. 10, no. 3, article number e0119618m, doi: 10.1371/journal.pone.0119618.

Lammers, J.W., MacLeod, A. (2007) *Report of a pest risk analysis: Helicoverpa armigera (Hübner, 1808)*, Plant Protection Service (NL) and Central Science Laboratory (UK), 18 p., available at: <https://pra.eppo.int/getfile/81ff20f2-652c-4bd6-a76c-4201e9eff214> (accessed 2024-10-06).

Leite, N.A., Alves-Pereira, A., Corrêa, A.S., Zucchi, M.I., Omoto, C. (2014) Demographics and genetic variability of the new world bollworm (*Helicoverpa zea*) and the Old World bollworm (*Helicoverpa armigera*) in Brazil, *PloS One*, vol. 9, no. 11, article number e113286, doi: 10.1371/journal.pone.0113286.

Liu, Z., Gong, P., Wu, K., Sun, J., Li, D. (2006) A true summer diapause induced by high temperatures in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), *Journal of Insect Physiology*, vol. 52, no. 10, pp. 1012-1020, doi: 10.1016/j.jinsphys.2006.06.008.

Liu, Z., Scheirs, J., Heckel, D.G. (2010) Host plant flowering increases both adult oviposition preference and larval performance of a generalist herbivore, *Environmental Entomology*, vol. 39, no. 2, pp. 552-560, doi: 10.1603/EN09129.

Maelzer, D.A., Zalucki, M.P. (1999) Analysis of long-term light-trap data for *Helicoverpa* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) in Australia: the effect of climate and crop host plants, *Bulletin of Entomological Research*, vol. 89, no. 5, pp. 455-463, doi: 10.1017/S0007485399000590.

Mahon, R.J., Olsen, K.M., Downes, S., Addison, S. (2007) Frequency of alleles conferring resistance to the Bt toxins Cry1Ac and Cry2Ab in Australian populations of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), *Journal of Economic Entomology*, vol. 100, no. 6, pp. 1844-1853, doi: 10.1093/jee/100.6.1844).

Mastrandrea, M.D., Field, C.B., Stocker, T.F., Edenhofer, O., Ebi, K.L., Frame, D.J., Held, H., Kriegler, E., Mach, K.J., Matschoss, P.R., Plattner, G.K.,

Yohe, G.W., Zwiers, F.W. (2010) *Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties*, IPCC Cross-Working Group Meeting on Consistent Treatment of Uncertainties, Jasper Ridge, CA, USA 6-7 July 2010, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), available at: <http://www.ipcc.ch> (accessed 2024-10-06).

Mathukumalli, S.R., Dammu, M., Sengottaiyan, V., Ongolu, S., Biradar, A.K., Kondru, V.R., Karlapudi, S., Bellapukonda, M.K.R., Chitiprolu, R.R.A., Cherukumalli, S.R. (2016) Prediction of *Helicoverpa armigera* Hubner on pigeonpea during future climate change periods using MarkSim multimodel data, *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 228-229, pp. 130-138, doi: 10.1016/j.agrformet.2016.07.009.

Matthews, M. (1991) *Classification of the Heliothinae*, Natural Resources Institute, Chatham, UK. Bulletin, no. 44, 198 p., available at: <http://gala.gre.ac.uk/11076>(accessed 2021-10-06).

McCaffery, A.R. (1998) Resistance to insecticides in Heliothine Lepidoptera: a global view, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, vol. 353, pp. 1735-1750, doi: 10.1098/rstb.1998.0326.

Mironidis, G.K. (2014) Development, survivorship and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) under fluctuating temperatures, *Bulletin of Entomological Research*, vol. 104, no. 6, pp. 751-764.

Mironidis, G.K., Savopoulou-Soultani, M. (2010) Effects of heat shock on survival and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) adults, *Journal of Thermal Biology*, vol. 35, no. 2, pp. 59-69, doi: 10.1016/j.jtherbio.2009.11.001.

Mironidis, G.K., Savopoulou-Soultani, M. (2012) Effects of thermophotoperiod on growth parameters of *Helicoverpa armigera*, *Entomologia Experimentalis et Applicata*, vol. 142, no. 1, pp. 60-70, doi: 10.1111/j.1570-7458.2011.01201.x.

Mironidis, G.K., Savopoulou-Soultani, M. (2014) Development, survivorship, and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) under constant and alternating temperatures, *Environmental Entomology*, vol. 37, no. 1, pp. 16-28, doi: 10.1017/S0007485314000595.

Murray, D.A.H., Zalucki, M.P. (1990) Effect of soil moisture and simulated rainfall on pupal survival and moth emergence of *Helicoverpa punctigera* (Wallengren) and *H. armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), *Australian Journal of Entomology*, vol. 29, no. 3, pp. 193-197, doi: 10.1111/j.1440-6055.1990.tb00348.x.

Murúa, M.G., Scalora, F.S., Navarro, F.R., Cazado, L.E., Casmuz, A., Villagrán, M.E. Lobos, E., Gastaminza, G. (2014) First record of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Argentina, *Florida Entomologist*, vol. 97, no. 2, pp. 854-856, doi: 10.1653/024.097.0279.

Nibouche, S. (1998) High temperature induced diapause in the cotton bollworm *Helicoverpa armigera*, *Entomologia Experimentalis et Applicata*, vol. 87, no. 3, pp. 271-274, doi: 10.1046/j.1570-7458.1998.00331.x.

Nietschke, B.S., Magarey, R.D., Borchert, D.M., Calvin, D.D., Jones, E. (2007) A developmental database to support insect phenology models, *Crop Protection*, vol. 26, no. 9, pp. 1444-1448, doi: 10.1016/j.cropro.2006.12.006.

Pedgley, D.E. (1985) Windborne migration of *Heliothis armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) to the British Isles, *Entomologist's Gazette*, vol. 36, no. 1, pp. 15-20.

Pedgley, D.E. (1986) Windborne migration in the Middle East by the moth *Heliothis armigera* (Lep.: Noctuidae), *Ecological Entomology*, vol. 11, no. 4, pp. 467-470, doi: 10.1111/j.1365-2311.1986.tb00325.x.

Pedgley, D.E., Tucker, M.R., Pawar, C.S. (1987) Windborne migration of *Heliothis armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in India, *International Journal of Tropical Insect Science*, vol. 8, no. 4-5-6, pp. 599-604, doi: 10.1017/S1742758400022669.

Qureshi, M.H., Mura, T., Yoshida, H., Shiraga, T., Tsumuki, H. (1999) Effects of photoperiod and temperature on development and diapause induction on the Okayama population of *Helicoverpa armigera* (Hb.) (Lepidoptera: Noctuidae), *Applied Entomology and Zoology*, vol. 34, no. 3, pp. 327-331, doi: 10.1303/aer.34.327.

Riaz, S., Johnson, J.B., Ahmad, M., Fitt, G.P., Naiker, M. (2021) A review on biological interactions and management of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), *Journal of Applied Entomology*, vol. 145, no. 6, pp. 467-498, doi: 10.1111/jen.12880.

Riley, J.R., Armes, N.J., Reynolds, D.R., Smith, A.D. (1992) Nocturnal observations on the emergence and flight behaviour of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in the post-rainy season in central India, *Bulletin of Entomological Research*, vol. 82, no. 2, pp. 243-256, doi: 10.1017/S0007485300051798.

Rios, D.A.M., Specht, A., Roque-Specht, V.F., Sosa-Gómez, D.R., Fochezato, J., Malaquias, J.V., Gonçalves, G.L., Moreira, G.R. (2022) *Helicoverpa armigera* and *Helicoverpa zea* hybridization: constraints, heterosis, and implications for pest management, *Pest Management Science*, vol. 78, no. 3, pp. 955-964, doi: 10.1002/ps.6705.

Rochester, W.A., Dillon, M.L., Fitt, G.P., Zalucki, M.P. (1996) A simulation model of the long-distance migration of *Helicoverpa* spp. moths, *Ecological Modelling*, vol. 86, no. 2-3, pp. 151-156, doi: 10.1016/0304-3800(95)00043-7.

Ruan, J., Yang, Y., Carrière, Y., Wu, Y. (2024) Development of resistance monitoring for *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to pyramided Bt cotton in China, *Journal of Economic Entomology*, vol. 117, no. 5, pp. 2093-2099, doi: 10.1093/jee/toae194.

Sharma, H.C., Srivastava, C.P., Durairaj, C., Gowda, C.L.L. (2010) Pest management in grain legumes and climate change, *Climate change and management of cool season grain legume crops*, in S.S. Yadav, D.L. McNeil, R. Redden, S.A. Patil (eds), Dordrecht, Netherlands: Springer Science, pp. 115-140.

Silva, I.F., Baldin, E.L., Specht, A., Sosa-Gómez, D.R., Roque-Specht, V.F., Morando, R., Paula-Moraes, S.V. (2018) Biotic potential and life table of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) from three Brazilian regions, *Neotropical Entomology*, vol. 47, pp. 344-351, doi: 10.1007/s13744-017-0529-8.

Srinivasa Rao, M., Rama Rao, C.A., Raju, B.M.K., Subba Rao, A.V.M., Gayatri, D.L.A., Islam, A., Prasad, T.V., Navya, M., Srinivas, K., Pratibha, G., Srinivas, I., Prabhakar, M., Yadav, S.K., Bhaskar, S., Singh, V.K., Chaudhari, S.K. (2023) Pest scenario of *Helicoverpa armigera* (Hub.) on pigeonpea during future climate change periods under RCP based projections in India, *Scientific Reports*, vol. 13, no. 1, article number 6788, doi: 10.1038/s41598-023-32188-1.

Srivastava, C.P., Joshi, N., Trivedi, T.P. (2010) Forecasting of *Helicoverpa armigera* populations and impact of climate change, *Indian Journal of Agricultural Sciences*, vol. 80, no. 1, pp. 3-10.

Tay, W.T., Soria, M.F., Walsh, T., Thomazoni, D., Silvie, P., Behere, G.T., Anderson, C., Downes, S. (2013) A brave new world for an old world pest: *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil, *PloS One*, vol. 8, no. 11, article number e80134, doi: 10.1371/journal.pone.0080134.

Tripathi, S.R., Singh, R. (1991) Population dynamics of *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae), *International Journal of Tropical Insect Science*, vol. 12, no. 4, pp. 367-374, doi: 10.1017/S174275840001122X.

Twine, P.H. (1978) Effect of temperature on the development of larvae and pupae of the corn earworm, *Heliothis armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae), *Queensland Journal of Agricultural and Animal Sciences*, vol. 35, no. 1, pp. 23-28.

Yadav, S.P.S., Lahutiya, V., Paudel, P. (2022) A review on the biology, ecology, and management tactics of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, vol. 10, no. 12, pp. 2467-2476, doi: 10.24925/turjaf.v10i12.2467-2476.5211.

Zalucki, M.P., Daglish, G., Firempong, S., Twine, P. (1986) The biology and ecology of *Heliothis armigera* (Hubner) and *Heliothis punctigera* Wallengren (Lepidoptera, Noctuidae) in Australia – what do we know? *Australian Journal of Zoology*, vol. 34, no. 6, pp. 779-814, doi: 10.1071/zo9860779.

Zalucki, M.P., Furlong, M.J. (2005) Forecasting *Helicoverpa* populations in Australia: a comparison of regression based models and a bioclimatic based modelling approach, *Insect Science*, vol. 12, no. 1, pp. 45-56, doi: 10.1111/j.1672-9609.2005.00007.x.

References

AB Tsentr (Ekspertno-analiticheskij tsentr agrobiznesa) (2024) *Rossiiskij rynek kukuruzy v 2024 godu, klyuchevye tendentsii i prognozy* [The Russian corn market in 2024, key trends and forecasts], available at: <https://ab-centre.ru/news/rossiyskiy-rynok-kukuruzy-v-2024-godu-klyuchevye-tendencii-i-prognozy> (accessed 2024-10-20).

Afonin, A.N., Green, S.L., Dzyubenko, N.I., Frolov, A.N. (eds) (2008) *Agroekologicheskij atlas Rossii i sopredel'nykh stran: ekonomicheski znachimye rasteniya, ikh vrediteli, bolezni i sornye rasteniya* [Agroecological Atlas of Russia and neighboring countries: economically significant plants, their pests, diseases and weeds], Internet-version 2.0, available at: <http://www.agroatlas.ru> (accessed 2024-10-26).

Alferaki, S.N. (1907) K faune cheshuekrylykh Severnogo Kavkaza (ispravleniya i dobavleniya) [To the fauna of Lepidoptera of the North Caucasus (corrections and additions)], *Russkoe entomologicheskoe obozreniye*, vol. 7, no. 4, pp. 203-205.

Arestova, N.O., Ryabchun, I.O. (2015) Izmeneniye vrednoj entomofauny v vinogradnom agrotsenoze Nizhnego Pridon'ya [Changes in harmful entomofauna in the grape agrocenosis of the Lower Don region], *Vinogradarstvo i vinodeliye*, no. 45, pp. 48-49.

Artokhin, K.S., Poltavsky, A.N., Matov, A.Yu., Shchurov, V.I. (2017) *Sovkoobraznye – vrediteli sel'skokhozyajstvennykh kul'tur i lesnykh nasazhdenij* [Noctuids – pests of agricultural crops and forest plantations], Foundation, Rostov-on-Don, Russia, 376 p.

Bogachev, A.V. (1954) *Khlopkovaya sovka i mery bor'by s nej* [The cotton bollworm and its control measures], Krymizdat, Simferopol, Russia, 52 p.

Bogdanovich, A.Yu., Pavlova, V.N., Ran'kova, E.Ya., Semenov, S.M. (2021) Vliyanie izmenenij zasushlivosti v Rossii v XXI veke na prigodnost' territorij dlya vozdel'yvaniya zernovykh kul'tur [The impact of changes in aridity in Russia in the XXI century on the suitability of territories for cultivation of grain crops], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, no. 1, pp. 20-356, doi: 10.21513/2410-8758-2021-1-20-35.

Bogdanovich, A.Yu., Semenov, S.M. (2023) Otsenka klimaticheskikh arealov vidov s ispol'zovaniyem sistemy RANGES [Assessment of climatic ranges of species using the RANGES system]. In: *Sbornik tezisov dokladov mezhdunarodnoj konferentsii "Izmeneniya klimata: prichiny, riski, posledstviya, problemy adaptatsii i regulirovaniya. Klimat-2023"*, Fizmat-kniga, Moscow, Russia, pp. 220-220.

Borisko, A.E. (1961) *Osnovnye osobennosti biologii khlopkovoj (kukuruznoj) sovki Chloridea obsoleta F. na yuge USSR i obosnovaniye meropriyatij po bor'be s neyu* [The main features of the biology of the cotton (corn) bollworm *Chloridea*

obsoleta F. in the south of the Ukrainian SSR and the justification of measures to control it], autoref. dis. ... cand. biol. sci., Odessa, 23 p.

Winkler, N.G. (1971) Fenologiya, statsial'noe raspredeleniye i dinamika chislennosti khlopkovoj sovki na yuge Tadzhikistana [Phenology, station distribution and population dynamics of the cotton bollworm in the south of Tajikistan], *Trudy Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zashchity rastenij*, issue 32, part 1, pp. 87-100.

Gilev, S.D., Tsymbalenko, I.N., Zamyatin, A.A., Panfilov, A.E., Suslov, S.A. (2014) Zernovaya kukuruza v Zaural'e [Grain corn in the Trans-Urals]. In: *Sovremennye problemy zemledeliya Zaural'ya i puti ikh nauchno obosnovannogo resheniya. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoj 40-letiyu Kurganskogo NIISKh i 100-letiyu Shadrinskogo opytного polya, 24-25 iyulya 2014.*, ООО "Kurtamyshskaya tipografiya", Kurtamysh, Russia, pp. 227-233.

Govorov, D.N., Zhivikh, A.V., Proskuryakova, M.Yu. (2013) Khlopkovaya sovka – periodicheskaya ugroza sel'skokhozyajstvennym posevam [Cotton bollworm – a periodic threat to agricultural crops], *Zashchita i karantin rastenij*, no. 5, pp. 18-20.

Goryshin, N.I. (1958) Ekologicheskij analiz sezonnogo tsikla razvitiya khlopkovoj sovki (*Chloridea obsoleta* F.) v severnykh rajonakh ee rasprostraneniya [Ecological analysis of the seasonal development cycle of the cotton bollworm (*Chloridea obsoleta* F.) in the northern regions of its distribution], *Uchenyye zapiski Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta*, issue 46, no. 240, pp. 3-20.

Davydova, S.A., Vakhaniya, V.I., Kurasov, V.S. (2019) *Analiz sostoyaniya i perspektivnye napravleniya razvitiya seleksii i semenovodstva kukuruzy: nauchnyj analiticheskij obzor* [Analysis of the situation and promising directions for the development of maize breeding and seed production: a scientific analytical review], FGBNU "Rosinformagrotekh", Moscow, Russia, 92 p.

Dobrolyubov, N.Yu., Semenov, S.M., Volodin, E.M., Bogdanovich, A.Yu. (2023) *Algebraicheskij algoritm statisticheskoy ocenki parametra binomial'nogo raspredeleniya i primer ego primeneniya v odnoj global'noj geoinformacionnoj zadache prikladnoj klimatologii* [Algebraic Algorithm for Statistical Estimation of the Binomial Distribution Parameter and an Example of Its Application in a Global Geoinformation Task of Applied Climatology], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 10, pp. 16-24, doi: 10.52002/0130-2906-2023-10-16-24.

Eliseev, S.L., Eliseev, A.S. (2015) Vyzrevaniye zerna kukuruzy v severnykh rajonakh kukuruzoseyaniya [Maturation of corn grain in the northern areas of corn sowing], *Permskij agrarnyj vestnik*, no. 1 (9), pp. 11-18.

Zezin, N.N., Namyatov, M.A. (2018) Rezul'taty vnedreniya zernovoj tekhnologii vozdeleyvaniya kukuruzy na srednem Urale [Results of the adoption of grain technology for corn cultivation in the Middle Urals], *Kormoproizvodstvo*, no. 3, pp. 11-15.

Zezin, N.N., Namyatov, M.A., Pelevin, V.A. (2018) Podbor gibridov kukuruzy i optimal'nye sroki ikh uborki na srednem Urale [Selection of corn hybrids and optimal harvesting time in the Middle Urals], *APK Rossii*, vol. 25, no. 1, pp. 37-44.

Zezin, N.N., Panfilov, A.E. (eds) (2017) *Kukuruza na Urale* [Corn in the Urals]. Monografiya, Ural'skij NIISKh, Ural'skoe izdatel'stvo, Ekaterinburg, Russia, pp. 202 p.

Ivanova, E.S. (2018a) Effektivnost' vozdeleyvaniya kukuruzy rossijskoj i zarubezhnoj seleksii v usloviyakh Zaural'ya [The efficiency of cultivation of Russian and foreign breeding maize in the conditions of the Trans-Urals], *APK Rossii*, vol. 25, no. 2, pp. 223-227.

Ivanova, E.S. (2018b) Formirovaniya zernovoj produktivnosti skorospeloy kukuruzy v usloviyakh Zaural'ya [Formation of grain productivity of precocious corn in the conditions of the Trans-Urals], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Ural'skij region*, no. 1, pp. 130-135.

Il'yin, V.S., Loginova, A.M., Gubin, S.V., Getts, G.V. (2017) Ekologicheskoe ispytaniye novykh gibridov kukuruzy, sozdannykh s uchastiyem omskikh inbrednykh linij, s ispol'zovaniyem selektsionnykh indeksov [Ecological testing of new corn hybrids created with the participation of Omsk inbred lines using breeding indices], *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, no. 12, pp. 61-65.

Kazanok, T.S. (2009) *Bioekologicheskiye osobennosti khlopkovoj sovki v agrotsenoze sakharnoj kukuruzy i mery bor'by s nej v usloviyakh Zapadnogo Predkavkaz'ya* [Bioecological features of cotton bollworm in the agroecosystem of sweet corn and measures to control it in the conditions of the Western pre-Caucasus], autoref. dis. ... cand. agric. sci., Voronezh, Russia, 25 p.

Kiel', V.I. (2010) DNK-polimorfizm i geneticheskoe raznoobraziye populyatsij yablonnoj plodozhorki i khlopkovoj sovki po mikrosatelitnym lokusam [DNA polymorphism and genetic diversity of codling moth and cotton bollworm populations by microsatellite loci], *Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, no. 62, pp. 304-313.

Kozhanchikov, I.V. (1938) Eksperimenty i nablyudeniya po vliyaniyu tepla na razvitiye kukolok hlopkovoj sovki *Heliothis obsoleta* F. [Studies on the effect of heat on the development of the pupae of the cotton bollworm *Heliothis obsoleta* F.], *Zashchita rastenij*, no. 16, pp. 27-34.

Kozhanchikov, I.V. (1941) O nekotorykh tipakh areala rasprostraneniya vrednykh nasekomykh [On some types of the geographical distribution of injurious insects], *Izvestiya Vysshikh kursov prikladnoj zoologii i fitopatologii*, no. 12, pp. 222-234.

Komarova, O.S. (1964) Vliyaniye temperatury na zimovku kukolok khlopkovoj sovki [Temperature effect upon hibernation of cotton bollworm pupae], *Zoologicheskij zhurnal*, vol. 43, no. 10, pp. 1467-1472.

Komarova, O.S., Kuznetsova, M.S., Nikishina, E.S. (1971) Vliyaniye temperatury i dliny dnya na razvitiye gusenits i diapauzu kukolok khlopkovoy sovki [Effects of temperatures and day lengths on the development of larvae and diapause of cotton bollworm pupae], *Trudy Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zashchity rastenij*, issue 32, part 1. pp. 75-78.

Koreneva, A. (2020) *Samye populyarnye gibridy kukuruzy v Rossii v 2020 godu* [The most popular corn hybrids in Russia in 2020], <https://agrobook.ru/blog/user/aleksandra-koreneva/samye-populyarnye-gibridy-kukuruzy-v-rossii-v-2020-godu> (accessed 2024-10-26).

Kravchenko, V.V. (2015) *Produktivnost' ul'trarannikh i rannespelykh gibridov kukuruzy i optimizatsiya srokov ikh uborki na silos v usloviyakh srednego i yuzhnogo Urala* [Productivity of ultra-early and early-maturing corn hybrids and optimization of their harvesting time for silage in the conditions of the middle and southern Urals], autoref. dis. ... cand. agric. sci., Tyumen, Russia, 18 p.

Krasova, L.F. (1973) *Khlopkovaya sovka (Heliothis armigera Hbn.) v Dagestane i obosnovaniye meropriyatij po bor'be s neyu* [The cotton bollworm (*Heliothis armigera* Hbn.) in Dagestan and scientific justification for measures to control it], autoref. dis. ... cand. agric. sci., Leningrad, Russia, 19 p.

Kuznetsova, M.S. (1971) Tsikl razvitiya khlopkovoy sovki na kukuruze v Stavropol'skom krae [The life cycle of the cotton bollworm on maize in Stavropol Area], *Trudy Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zashchity rastenij*, issue 32, part 1. pp. 79-86.

Kuznetsova, M.S. (1972) Vliyaniye temperaturnykh i fotoperiodicheskikh uslovij na reaktivatsiyu diapauziruyushchikh kukolok khlopkovoy sovki *Chloridea obsoleta* F. (Lepidoptera, Noctuidae) [The effect of temperature and photoperiodic conditions on reactivation of diapausing pupae of the cotton bollworm *Chloridea obsoleta* F. (Lepidoptera, Noctuidae)], *Entomologicheskoe obozreniye*, vol. 51, no. 3, pp. 520-527.

Kuz'minskij, A.V., Fedorenko, V.P. (2014) Osobennosti razvitiya khlopkovoy sovki v severnoj stepi Ukrainy [Features of the development of the cotton bollworm in the northern steppe of Ukraine], *Zashchita i karantin rastenij*, no. 11, pp. 36-37.

Larchenko, K.I. (1968) *Ekologiya khlopkovoy sovki i sroki bor'by s nej* [Ecology of the cotton bollworm and timings to control it], "FAN", Tashkent, 192 p.

Li, Kh. (1998) Ekologiya i prognoz poyavleniya khlopkovoy sovki v severo-zapadnom Kitae [Ecology and forecast of the appearance of the cotton bollworm in northwestern China], *Izvestiya Khar'kovskogo entomologicheskogo obshchestva*, vol. 6, no. 2, pp. 147-149.

Matov, A.Yu., Kononenko, V.S. (2012) *Troficheskiye svyazi gusenits sovkoobraznykh cheshuekrylykh fauny Rossii (Lepidoptera, Noctuoidea: Nolidae, Erebidae, Euteliidae, Noctuidae)* [The trophic connections of the larvae of noctuid

moths of the fauna of Russia (Lepidoptera, Noctuoidea: Nolidae, Erebidae, Euteliidae, Noctuidae)], "Dal'nauka", Vladivostok, Russia, 346 p.

Mukhitdinov, S.M., Boturova, Z.F. (2019) Ekologiya i kontrol' sostoyaniya khlopkovoj sovki v agrobiotsenoze Kulyabskoj zony Tadjikistana [Ecology and control of the cotton bollworm in the agrobiocenosis of the Kulyab zone of Tajikistan], *Nauka i innovatsiya*, no. 4, pp. 217-222.

Mukhitdinov, S.M., Khushvakhtova, Sh.D. (2017) Osobennosti ekologii khlopkovoj sovki v novykh strukturakh pashni dolinnykh zon Tadjikistana [Features of the ecology of the cotton bollworm in new arable land structures of the valley zones of Tajikistan], *Zashchita i karantin rastenij*, no. 6, pp. 31-34.

Obzor fitosanitarnogo sostoyaniya posevov sel'skokhozyajstvennykh kul'tur v Rossijskoj Federatsii v 2023 godu i prognoz razvitiya vrednykh obyektov v 2024 godu [A review of the phytosanitary situation of agricultural crops in the Russian Federation in 2023 and the forecast of the development of harmful objects in 2024] (2024) in D.N. Govorov, A.V. Zhivikh. (eds.), "Rossel'hozcentr", Moscow, Russia, 1281 p.

Obzor fitosanitarnogo sostoyaniya posevov sel'skokhozyajstvennykh kul'tur v Rossijskoj Federatsii v 2022 godu i prognoz razvitiya vrednykh obyektov v 2023 godu [A review of the phytosanitary situation of agricultural crops in the Russian Federation in 2022 and the forecast of the development of harmful objects in 2023] (2023) in D.N. Govorov, A.V. Zhivikh (eds.), "Rossel'hozcentr", Moscow, Russia, 267 p.

Panfilov, A.E. (2014) Seleksiya kukuruzy dlya severa: napravleniya i tendentsii [Maize breeding for the North: directions and trends]. In: *Sovremennyye problemy zemledeliya Zaural'ya i puti ikh nauchno obosnovannogo resheniya: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoj 40-letiyu Kurganskogo NIISKh i 100-letiyu Shadrinskogo opytnogo polya, 24-25 iyulya 2014*, Kurtamyshskaya tipografiya, Kurtamysh, Russia, pp. 233-240.

Panfilov, A.E., Zezin, N.N., Ovchinnikov, P.Yu. (2022) Biologicheskaya produktivnost' ul'trarannikh gibridov kukuruzy v razlichnykh pochvenno-klimaticheskikh zonakh Ural'skogo regiona [Biological productivity of ultra-early corn hybrids in various soil and climatic zones of the Ural region], *Agrarnyj vestnik Urala*, no. 03 (218), pp. 35-47, doi: 10.32417/1997-4868-2022-218-03-35-47.

Parulava, N.I. (1985) *Khlopkovaya sovka (Helicoverpa armigera Hbn.) vreditel' kukuruzy, tomatov, tabaka i mery bor'by s nej* [Cotton bollworm (*Helicoverpa armigera* Hbn.) a pest of corn, tomatoes, tobacco and measures to control it], autoref. dis. ... cand. agric. sci., Tbilisi, 25 p.

Poloskina, F.M. (1962) Osobennosti razvitiya i vredonosnost' khlopkovoj sovki na kukuruze v Azerbajdzhane [Features of the development and harmfulness of the cotton bollworm on corn in Azerbaijan], *Zapiski Leningradskogo sel'skokhozyajstvennogo instituta*, issue 87, pp. 119-123.

Popova Ye.N., Popov I.O. (2013) Klimaticheskiye faktory, kotoryye predskazyvayut geograficheskiye rayony i prediktory Vyrashchivatelyi zdorovykh rasteniy i metody vyrashchivaniya otsenka izmeneniya arealov izmeneniya klimata [Climatic factors determining ranges of agricultural pests and agents of plant diseases and model methodology for assessment of change in ranges], *Problemy ekologicheskoye Monitoring i modelirovaniye ekosistemy*, vol. 25, pp. 177-206.

Rodd, A.E. (1955) Metodika opredeleniya srokov razvitiya khlopkovoy sovki po temperaturnym dannym [Technique for determining the timing of the development of a cotton bollworm based on temperature data], *Socialisticheskoe sel'skoe khozyajstvo Azerbajdzhana*, no. 8, pp. 60-63.

Svechnikov, A.K., Sokolova, E.A. (2018) Skorost' razvitiya gibridov kukuruzy v usloviyakh 2017 goda v Respublike Marij El [The rate of development of corn hybrids in the conditions of 2017 in the Republic of Mari El], *Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktov sel'skogo khozyajstva*, no. 20, pp. 81-83.

Semenov, S.M., Popov, I.O., Yasyukevich, V.V. (2020) *Statisticheskaya model' dlya ocenki formirovaniya klimaticheskikh ugroz po dannym monitoringa klimata* [Statistical model for assessing the formation of climate threats based on climate monitoring data], *Meteorologiya i gidrologiya*, iss. 5. pp. 59-65, doi: 10.3103/S1068373920050040.

Signalizatsionnoe soobshcheniye no. 9 po Orenburgskoj oblasti na 03.08.2016. Klopovaya sovka (2016) [Alarm message No. 9 in the Orenburg region on 08/03/2016. Cotton bollworm (2016)], available at: <https://rosselhocenter.com/index.php/56/7291-signalizatsionnoe-soobshchenie-9-po-orenburgskoj-oblasti-na-03-08-2016g-khlopovaya-sovka> (accessed 2024-10-23).

Signalizatsionnoe soobshcheniye no. 14. Khlopovaya sovka na nute. 25 iyulya 2024 (2024) [Alarm message No. 14. Cotton bollworm on chickpeas. July 25 2024 (2024)], available at: <https://rosselhocenter.ru/ob-uchrezhdenii/filialy/privolzhskiy/samarskaya-oblast/signalizatsionnoe-soobshchenie-14-khlopovaya-sovka-na-nute/> (accessed 2024-10-23).

Signalizatsionnoe soobshcheniye Rossel'hoztentra no. 7 ot 23 avgusta 2022. Khlopovaya sovka (2022) [Alarm message of the Rosselkhoznadzor No. 7 dated August 23, 2022 Cotton bollworm (2022)], available at: <https://old.rosselhocenter.ru/index.php/58/35849-signalizatsionnoe-soobshchenie-7-khlopovaya-sovka-penzenskaya-oblast> (accessed 2024-10-23).

Signalizatsionnoe soobshcheniye Rossel'hoztentra no. 13 ot 08 avgusta 2022 goda Khlopovaya sovka (2022) [Alarm message of the Rosselkhoznadzor No. 13 dated August 08, 2022 Cotton bollworm (2022)], available at: <https://r54.tmbreg.ru/assets/files/Selskoe%20hoz/2021/Сигнал%20№13%20от%2008.08.2022%20г.%20хлопковая%20совка.pdf> (accessed 2024-10-23).

Signalizatsionnoe soobshcheniye Rossel'hoztentra po Respublike Tatarstan no. 22 ot 29 iyulya 2020. Khlopovaya sovka (2020) [Alarm message of the

Rossselkhoz nadzor for the Republic of Tatarstan No. 22 dated July 29, 2020 Cotton bollworm (2020)], available at: <https://rshc.tatarstan.ru/index.htm/news/1795062.htm> (accessed 2024-10-23).

Singh, S.P. (1973) Izucheniye khlopkovoj sovki v tsentral'noj zone Krasnodarskogo kraya [The study of the cotton bollworm in the central zone of the Krasnodar Territory], *Trudy Kubanskogo sel'skokhozyajstvennogo instituta*, no. 47 (75), pp. 80-84.

Sosnina, M.A. (1935) Materialy k izucheniyu *Chloridea obsoleta* F. [Materials for the study of *Chloridea obsoleta* F.]. In: *Materialy po vreditelyam i bolezniam khlopchatnika*, In M.I. Kosobutskij, I.N., Stepantseva (eds.), Tashkentm, Vsesoyuznyj nauchno-issledovatel'skij institut po khlopkovodstvu (SOYuZNIKhI), pp. 73-107.

Sotchenko, V.S. (2015) Rol' kukuruzy v povyshenii prodovol'stvennoj nezavisimosti strany [The role of corn in increasing the country's food independence], *Vestnik Rossijskoj akademii nauk*, vol. 85, no. 1, pp. 12-14.

Sotchenko, V.S., Sotchenko, Yu.V. (2021) Sostoyaniye i perspektivy selektsii i semenovodstva kukuruzy [The current status and prospects of breeding and seed production of corn], *Kukuruza i sorgo*, no. 2, pp. 5-11, doi: 10.25715/e3734-6035-8345-q.

Sukhoruchenko, G.I. (1996) Sostoyaniye problemy rezistentnosti vreditel'j khlopchatnika k pestitsidam v Srednej Azii i Azerbajdzhanе v nachale 90-kh godov [The state of the problem of cotton pests' resistance to pesticides in Central Asia and Azerbaijan in the early 90-s], *Entomologicheskoe obozreniye*, vol. 75, no. 1, pp. 3-15.

Uvarov, B.P. (1924) Vrediteli khlopchatnika v Egipte, Indii i Messopotamii [Cotton pests in Egypt, India and Mesopotamia], *Khlopkovoe delo*, no. 9-10, pp. 63-77.

Fefelova, Yu.A. (2007) *Faktory sezonnoj dinamiki chislennosti khlopkovoj sovki na Severo-Zapadnom Kavkaze v period nizkoj chislennosti* [Factors of seasonal dynamics of the cotton bollworm population in the Northwestern Caucasus during a period of low pest abundance], autoref. dis. ... cand. biol. sci., Saint-Petersburg – Pushkin, 19 p.

Fefelova, Yu.A., Frolov, A.N. (2007) Faktory sezonnoj dinamiki chislennosti khlopkovoj sovki *Helicoverpa armigera* v Krasnodarskom kraе [Factors of seasonal population dynamics of the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* in the Krasnodar Territory], *Vestnik zashchity rastenij*, no. 1, pp. 47-52.

Frolov, A.N. (2011) Sovremennye napravleniya sovershenstvovaniya prognozov i monitoringa [Current trends in improving forecasts and monitoring], *Zashchita i karantin rastenij*, no. 4, pp. 15-20.

Frolov, A.N., Fefelova, Yu.A. (2006) Dinamika raspredeleniya yaits khlopkovoj sovki i ikh smertnost' na kukuruze v Krasnodarskom kraе [Dynamics of

distribution of cotton bollworm eggs and their mortality on corn in the Krasnodar Territory], *Vestnik zashchity rastenij*, no. 2, pp. 34-40.

Khromova, L.M. (2011) Vliyaniye nekotorykh sinopticheskikh pokazatelej na vredonosnost' khlopkovoj sovki v Kabardino-Balkarii [The influence of some synoptic indicators on the harmfulness of cotton bollworm in Kabardino-Balkaria], *Agrarnyj vestnik Urala*, no. 8 (87), pp. 12.

Tserkovnaya, V.S., Chernaya, V.P. (2017) Khlopkovaya sovka v Pridnestrov'e [Cotton bollworm in Transnistria], in: *Ovoshchevodstvo i bakhchevodstvo: istoricheskiye aspekty, sovremennoe sostoyaniye, problemy i perspektivy razvitiya, Materialy III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (v ramkakh II nauchnogo foruma "Nedelya nauki v Krutakh – 2017", 13-14 marta 2017, Kruty, Chernihiv region, Ukraine, in two volumes, vol. 2, pp. 337-342.*

Chenikalova, E.V., Zhigal'cova, I.S., Vdovenko, T.V. (2012) Hlopkovaya sovka na Stavropol'e [Cotton bollworm in Stavropol], *Sbornik nauchnykh trudov SWorld*, no. 45 (4), pp. 43-45.

Chenikalova, E.V. (2016) Ob izmenenii kruga kormovykh rastenij khlopkovoj sovki [On changing the range of food plants of the cotton bollworm], in: *Materialy IX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii: Aktual'nye voprosy entomologii, Stavropol', 16 maya 2016. Trudy Stavropol'skogo otdeleniya Russkogo Entomologicheskogo Obshchestva*, pp. 16-21.

Chenikalova, E.V., Kolomytseva, V.A. (2021) Khlopkovaya sovka prodvigaetsya na sever. Problemy prognoza chislennosti [The cotton bollworm is moving north. Problems of population forecasting], *Zashchita i karantin rastenij*, no. 2, pp. 31-33.

Cherkashin, V.N., Malykhina, A.N., Cherkashin, G.V. (2014) Khlopkovaya sovka na polevykh kul'turakh [Cotton bollworm on field crops], *Zemledeliye*, no. 5, pp. 35-36.

Cherkashin, V.N., Chenikalova, E.V., Cherkashin, G.V., Kolomytseva, V.A. (2019) Khlopkovaya sovka – opasnyj vreditel' polevykh kul'tur [The cotton bollworm is a dangerous pest of field crops], *Vestnik APK Stavropol'ya*, no. 3, pp. 73-77.

Chumakov, M.A., Kuznetsova, T.L. (2008) *Helicoverpa armigera* Hbn. – Khlopkovaya sovka [*Helicoverpa armigera* Hbn. – Cotton bollworm], in: *Agroekologicheskij atlas Rossii i sopredel'nykh stran: ekonomicheski znachimye rasteniya, ikh vrediteli, bolezni i sornye rasteniya [DVD-versiya]*, in A.N. Afonin, S.L. Greene, N.I. Dzyubenko, A.N. Frolov (eds.), available at: http://www.agroatlas.ru/ru/content/pests/Helicoverpa_armigera/index.html (accessed 2024-10-26).

Shkol'nik, I.M., Efimov, S.V. (2015) Regional'naya model' novogo pokoleniya dlya territorii severnoj Evrazii [A new generation regional model for the territory of Northern Eurasia], *Trudy Glavnoj geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voejkova*, no. 576, c. 201-211.

Shchetkin, Yu.L. (1956) Khlopkovaya sovka i mery bor'by s nej [The cotton bollworm and measures to control it], *Trudy Instituta zoologii i parazitologii AN Tadzhikskoj SSR*, vol. 52, pp. 3-58.

Yurchenko, E.G., Podgornaya, M.E., Prakh, S.V., Cherkezova, S.R. (2018) Effektivnost' mikrobiologicheskikh insektitsidov v kontrole dominiruyushchikh vreditelej sadov i vinogradnikov [The effectiveness of microbiological insecticides in the control of dominant pests of orchards and vineyards], *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo federal'nogo nauchnogo tsentra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya*, vol. 15, pp. 91-100, doi: 10.30679/2587-9847-2018-15-91-100.

Yasyukevich, V.V., Bogdanovich, A.Yu. (2021) Klimaticheskiye prediktory dlya model'nogo opisaniya klimaticheskikh arealov nekotorykh biologicheskikh vidov i ikh izmenenij v usloviyakh budushchego klimata [Climatic predictors for the model description of the climatic ranges of some biological species and their changes in the conditions of the future climate], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol. 7, no. 1, pp. 117-137.

Aggarwal, N., Brar, D.S., Basedow, T. (2006) Insecticide resistance management of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) and its effect on pests and yield of cotton in North India, *Journal of Plant Diseases and Protection*, vol. 113, no. 3, pp. 120-127.

Akhurst, R.J., James, W., Bird, L.J., Beard, C. (2003) Resistance to the Cry1Ac δ -endotoxin of *Bacillus thuringiensis* in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), *Journal of Economic Entomology*, vol. 96, no. 4, pp. 1290-1299, doi: 10.1093/jee/96.4.1290.

Ballari, H.S., Udikeri, S.S. (2022) Persisting resistance of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) to pyrethroid, organophosphate and carbamate insecticides, *Pakistan Journal of Zoology*, vol. 54, no. 4, pp. 1649-1656.

Bapatla, K.G., Singh, A.D., Sengottaiyan, V., Korada, R.R., Yeddula, S. (2022) Impact of climate change on *Helicoverpa armigera* voltinism in different agro-climatic zones of India, *Journal of Thermal Biology*, vol. 106, article number 103229, doi: 10.1016/j.jtherbio.2022.103229.

Barteková, A., Praslička, J. (2006) The effect of ambient temperature on the development of cotton bollworm (*Helicoverpa armigera* Hübner, 1808), *Plant Protection Science*, vol. 42, no. 4, pp. 135-138, doi: 10.17221/2768-PPS.

Barzman, M., Bärberi, P., Birch, A.N.E., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Graf, B., Hommel, B., Jensen, J.E., Kiss, J., Kudsk, P., Lamichhane, J.R., Messéan, A., Moonen, A.C., Ratnadass, A., Ricci, P., Sarah, J.L., Sattin, M. (2015) Eight principles of integrated pest management, *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 35, pp. 1199-1215.

Bentivenha, J.P.F., Paula-Moraes, S.V., Baldin, E.L.L., Specht, A., da Silva, I.F., Hunt, T.E. (2016) Battle in the New World: *Helicoverpa armigera* versus *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae), *PLoS One*, vol. 11, no. 12, article number e0167182.

Chatar, V.P., Raghvani, K.L., Joshi, M.D., Ghadge, S.M., Deshmukh, S.G., Dalave, S.K. (2010) Population dynamics of pod borer, *Helicoverpa armigera* (Hubner) infesting chickpea, *International Journal of Plant Protection*, vol. 3, no. 1, pp. 65-67.

Chen, C., Xia, Q.W., Fu, S., Wu, X.F., Xue, F.S. (2014) Effect of photoperiod and temperature on the intensity of pupal diapause in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), *Bulletin of Entomological Research*, vol. 104, no. 1, pp. 12-18, doi: 10.1017/S0007485313000266.

Cordeiro, E.M.G., Pantoja-Gomez, L.M., de Paiva, J.B., Nascimento, A.R.B., Omoto, C., Michel, A.P., Correa, A.S. (2020) Hybridization and introgression between *Helicoverpa armigera* and *H. zea*: an adaptational bridge, *BMC Evolutionary Biology*, vol. 20, article number 61, doi: 10.1186/s12862-020-01621-8.

Cunningham, J.P., Jallow, M.F., Wright, D.J., Zalucki, M.P. (1998) Learning in host selection in *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), *Animal Behaviour*, vol. 55, no. 1, pp. 227-234, doi: 10.1006/anbe.1997.0600.

Cunningham, J.P., Zalucki, M.P., West, S.A. (1999) Learning in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae): a new look at the behaviour and control of a polyphagous pest, *Bulletin of Entomological Research*, vol. 89, no. 3, pp. 201-207, <https://10.1017/S0007485399000310>.

Cunningham, J.P., West, S.A. (2008) How host plant variability influences the advantages to learning: a theoretical model for oviposition behaviour in Lepidoptera, *Journal of Theoretical Biology*, vol. 251, no. 3, pp. 404-410, <https://10.1016/j.jtbi.2007.11.009>.

Dahi, H. (2007) Using heat accumulation and sex pheromone catches to predicate the American bollworm *Helicoverpa armigera* Hub. field generations, *Journal of Plant Protection and Pathology*, vol. 32, no. 4, pp. 3037-3044.

Dalal, P.K., Arora, R. (2016) Impact of temperature on food consumption and nutritional indices of tomato fruit borer, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Noctuidae: Lepidoptera), *Journal of Agrometeorology*, vol. 18, no. 1, pp. 62-67, doi: 10.54386/jam.v18i1.901.

Dent, D.R., Binks, R.H. (2020) *Insect pest management*, 3rd edition, CABI, 363 p.

El-Mezayyen, G.A., Ragab, M.G. (2014) Predicting the American bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) field generations as influenced by heat unit accumulation, *Egyptian Journal of Agricultural Research*, vol. 92, no. 1, pp. 91-99, doi: 10.21608/ejar.2014.154435.

EPPO (2024) *Helicoverpa armigera*. Last updated: 2024-04-15. EPPO datasheets on pests recommended for regulation, electronic resource, URL: <https://gd.eppo.int/taxon/HELIAR> (accessed 2024-10-11).

Farrow, R.A., Daly, J.C. (1987) Long-range movements as an adaptive strategy in the genus *Heliothis* (Lepidoptera: Noctuidae) – a review of its

occurrence and detection in four pest species, *Australian Journal of Zoology*, vol. 35, no. 1, pp. 1-24, doi: 10.1071/ZO9870001.

Fathipour, Y., Sedaratian, A. (2013) Integrated management of *Helicoverpa armigera* in soybean cropping systems. Chapter 9. In: *Soybean, Pest Resistance*, El-Shemy, H.A. (eds.), Rijeka, Croatia, InTech, pp. 231-280, doi: 10.5772/54522.

Feng, H., Gould, F., Huang, Y., Jiang, Y., Wu, K. (2010) Modeling the population dynamics of cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) over a wide area in northern China, *Ecological Modelling*, vol. 221, no. 15, pp. 1819-1830, doi: 10.1016/j.ecolmodel.2010.04.003.

Feng, H.Q., Wu, K.M., Cheng, D.F., Guo, Y.Y. (2004) Northward migration of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) and other moths in early summer observed with radar in northern China, *Journal of Economic Entomology*, vol. 97, no. 6, pp. 1874-1883, doi: 10.1093/jee/97.6.1874.

Feng, H.Q., Wu, K.M., Ni, Y.X., Cheng, D.F., Guo, Y.Y. (2005) Return migration of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) during autumn in northern China, *Bulletin of Entomological Research*, vol. 95, no. 4, pp. 361-370, doi: 10.1079/BER2005367.

Feng, H., Wu, X., Wu, B., Wu, K. (2009) Seasonal migration of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) over the Bohai sea, *Journal of Economic Entomology*, vol. 102, no. 1, pp. 95-104, doi: 10.1603/029.102.0114.

Fitt, G.P. (1989) The ecology of *Heliothis* species in relation to agroecosystems, *Annual Review of Entomology*, vol. 34, pp. 17-53, doi: 10.1146/annurev.en.34.010189.000313.

Fitt, G.P., Cotter, S.C. (2005) The *Helicoverpa* problem in Australia: biology and management. In: *Heliothis/Helicoverpa management: emerging trends and prospects for future research*, Sharma, H. (ed.), New Delhi, Oxford & IBH Publishing Co, pp. 57-74.

Foley, D.H. (1981) Pupal development rate of *Heliothis armiger* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) under constant and alternating temperatures, *Australian Journal of Entomology*, vol. 20, no. 1, pp. 13-20, doi: 10.1111/j.1440-6055.1981.tb00993.x.

Forrester, N.W., Cahill, M., Bird, L.J., Layland, J.K. (1993) Management of pyrethroid and endosulfan resistance in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Australia, *Bulletin of Entomological Research. Supplement Series*, no. 1, 132 p.

Gregg, P.C., Fitt, G.P., Zalucki, M.P., Murray, D.A.H. (1995) Insect migration in an arid continent. II. *Helicoverpa* spp. in eastern Australia. In: *Insect migration, tracking resources through space and time*, Drake, V.A., Gatehouse, A.G. (eds.), Cambridge, UK, Cambridge Univ. Press, pp. 151-172.

Haile, F., Nowatzki, T., Storer, N. (2021) Overview of pest status, potential risk, and management considerations of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera:

Noctuidae) for U. S. Soybean Production, *Journal of Integrated Pest Management*, vol. 12, no. 1, article number 3, doi: 10.1093/jipm/pmaa030.

Hardwick, D.F. (1965) The corn earworm complex, *The Memoirs of the Entomological Society of Canada*, vol. 97, no. S40, pp. 5-247, doi: 10.4039/entm9740fv.

Harris, I., Osborn, T.J., Jones, P.D., Lister, D. (2020) Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset, *Scientific Data*, vol. 7, article number 109, doi: 10.1038/s41597-020-0453-3.

Helicoverpa armigera (cotton bollworm) (2021) CABI Compendium, 16 November 2021, CABI Head Office, Wallingford, UK, doi: 10.1079/cabicompendium.26757 (accessed 2024-10-06).

Huang, J. (2021) Effects of climate change on different geographical populations of the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera, Noctuidae), *Ecology and Evolution*, vol. 11, no. 24, pp. 18357-18368, doi: 10.1002/ece3.8426.

Huang, J., Hao, H. (2020) Effects of climate change and crop planting structure on the abundance of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), *Ecology and Evolution*, vol. 10, no. 3, pp. 1324-1338, doi: 10.1002/ece3.5986.

Huang, J., Li, J. (2015) Effects of climate change on overwintering pupae of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), *International Journal of Biometeorology*, vol. 59, pp. 863-876, doi: 10.1007/s00484-014-0903-8.

Jafari, H., Habibpour, B., Hemmati, S.A., Stelinski, L.L. (2023) Population growth parameters of *Helicoverpa armigera* (Hübner) on various legume seeds reveal potential tolerance traits, *Sustainability*, vol. 15, no. 9, article number 7502, doi: 10.3390/su15097502.

Jallow, M.F.A., Matsumura, M. (2001) Influence of temperature on the rate of development of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), *Applied Entomology and Zoology*, vol. 36, no. 4, pp. 427-430, doi: 10.1303/aez.2001.427.

Jallow, M.F.A., Matsumura, M., Suzuki, Y. (2001) Oviposition preference and reproductive performance of Japanese *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), *Applied Entomology and Zoology*, vol. 36, no. 4, pp. 419-426, doi: 10.1303/aez.2001.419.

Jones, C.M., Parry, H., Tay, W.T., Reynolds, D.R., Chapman, J.W. (2019) Movement ecology of pest *Helicoverpa*: implications for ongoing spread, *Annual Review of Entomology*, vol. 64, pp. 277-295, doi: 10.1146/annurev-ento-011118-111959.

Kranthi, K.R., Jadhav, D.R., Kranthi, S., Wanjari, R.R., Ali, S.S., Russell, D.A. (2002) Insecticide resistance in five major insect pests of cotton in India, *Crop Protection*, vol. 21, no. 6, pp. 449-460, doi: 10.1016/S0261-2194(01)00131-4.

Kriticos, D.J., Ota, N., Hutchison, W.D., Beddow, J., Walsh, T., Tay, W.T., Borchert, D.M., Paula-Moreas, S.V., Czapak, C., Zalucki, M.P. (2015) The potential distribution of invading *Helicoverpa armigera* in North America: is it just a matter of time?, *PloS One*, vol. 10, no. 3, article number e0119618m, doi: 10.1371/journal.pone.0119618.

Lammers, J.W., MacLeod, A. (2007) *Report of a pest risk analysis: Helicoverpa armigera (Hübner, 1808)*, Plant Protection Service (NL) and Central Science Laboratory (UK), 18 p., available at: <https://pra.eppo.int/getfile/81ff20f2-652c-4bd6-a76c-4201e9eff214> (accessed 2024-10-06).

Leite, N.A., Alves-Pereira, A., Corrêa, A.S., Zucchi, M.I., Omoto, C. (2014) Demographics and genetic variability of the new world bollworm (*Helicoverpa zea*) and the Old World bollworm (*Helicoverpa armigera*) in Brazil, *PloS One*, vol. 9, no. 11, article number e113286, doi: 10.1371/journal.pone.0113286.

Liu, Z., Gong, P., Wu, K., Sun, J., Li, D. (2006) A true summer diapause induced by high temperatures in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), *Journal of Insect Physiology*, vol. 52, no. 10, pp. 1012-1020, doi: 10.1016/j.jinsphys.2006.06.008.

Liu, Z., Scheirs, J., Heckel, D.G. (2010) Host plant flowering increases both adult oviposition preference and larval performance of a generalist herbivore, *Environmental Entomology*, vol. 39, no. 2, pp. 552-560, doi: 10.1603/EN09129.

Maelzer, D.A., Zalucki, M.P. (1999) Analysis of long-term light-trap data for *Helicoverpa* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) in Australia: the effect of climate and crop host plants, *Bulletin of Entomological Research*, vol. 89, no. 5, pp. 455-463, doi: 10.1017/S0007485399000590.

Mahon, R.J., Olsen, K.M., Downes, S., Addison, S. (2007) Frequency of alleles conferring resistance to the Bt toxins Cry1Ac and Cry2Ab in Australian populations of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), *Journal of Economic Entomology*, vol. 100, no. 6, pp. 1844-1853, doi: 10.1093/jee/100.6.1844).

Mastrandrea, M.D., Field, C.B., Stocker, T.F., Edenhofer, O., Ebi, K.L., Frame, D.J., Held, H., Kriegler, E., Mach, K.J., Matschoss, P.R., Plattner, G.K., Yohe, G.W., Zwiers, F.W. (2010) *Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties*, IPCC Cross-Working Group Meeting on Consistent Treatment of Uncertainties, Jasper Ridge, CA, USA 6-7 July 2010, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), available at: <http://www.ipcc.ch> (accessed 2024-10-06).

Mathukumalli, S.R., Dammu, M., Sengottaiyan, V., Ongolu, S., Biradar, A.K., Kondru, V.R., Karlapudi, S., Bellapukonda, M.K.R., Chitiprolu, R.R.A., Cherukumalli, S.R. (2016) Prediction of *Helicoverpa armigera* Hubner on pigeonpea during future climate change periods using MarkSim multimodel data, *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 228-229, pp. 130-138, doi: 10.1016/j.agrformet.2016.07.009.

Matthews, M. (1991) *Classification of the Heliothinae*, Natural Resources Institute, Chatham, UK. Bulletin, no. 44, 198 p., available at: <http://gala.gre.ac.uk/11076>(accessed 2021-10-06).

McCaffery, A.R. (1998) Resistance to insecticides in Heliothine Lepidoptera: a global view, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, vol. 353, pp. 1735-1750, doi: 10.1098/rstb.1998.0326.

Mironidis, G.K. (2014) Development, survivorship and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) under fluctuating temperatures, *Bulletin of Entomological Research*, vol. 104, no. 6, pp. 751-764.

Mironidis, G.K., Savopoulou-Soultani, M. (2010) Effects of heat shock on survival and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) adults, *Journal of Thermal Biology*, vol. 35, no. 2, pp. 59-69, doi: 10.1016/j.jtherbio.2009.11.001.

Mironidis, G.K., Savopoulou-Soultani, M. (2012) Effects of thermophotoperiod on growth parameters of *Helicoverpa armigera*, *Entomologia Experimentalis et Applicata*, vol. 142, no. 1, pp. 60-70, doi: 10.1111/j.1570-7458.2011.01201.x.

Mironidis, G.K., Savopoulou-Soultani, M. (2014) Development, survivorship, and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) under constant and alternating temperatures, *Environmental Entomology*, vol. 37, no. 1, pp. 16-28, doi: 10.1017/S0007485314000595.

Murray, D.A.H., Zalucki, M.P. (1990) Effect of soil moisture and simulated rainfall on pupal survival and moth emergence of *Helicoverpa punctigera* (Wallengren) and *H. armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), *Australian Journal of Entomology*, vol. 29, no. 3, pp. 193-197, doi: 10.1111/j.1440-6055.1990.tb00348.x.

Murúa, M.G., Scalora, F.S., Navarro, F.R., Cazado, L.E., Casmuz, A., Villagrán, M.E., Lobos, E., Gastaminza, G. (2014) First record of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Argentina, *Florida Entomologist*, vol. 97, no. 2, pp. 854-856, doi: 10.1653/024.097.0279.

Nibouche, S. (1998) High temperature induced diapause in the cotton bollworm *Helicoverpa armigera*, *Entomologia Experimentalis et Applicata*, vol. 87, no. 3, pp. 271-274, doi: 10.1046/j.1570-7458.1998.00331.x.

Nietschke, B.S., Magarey, R.D., Borchert, D.M., Calvin, D.D., Jones, E. (2007) A developmental database to support insect phenology models, *Crop Protection*, vol. 26, no. 9, pp. 1444-1448, doi: 10.1016/j.cropro.2006.12.006.

Pedgley, D.E. (1985) Windborne migration of *Heliothis armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) to the British Isles, *Entomologist's Gazette*, vol. 36, no. 1, pp. 15-20.

Pedgley, D.E. (1986) Windborne migration in the Middle East by the moth *Heliothis armigera* (Lep.: Noctuidae), *Ecological Entomology*, vol. 11, no. 4, pp. 467-470, doi: 10.1111/j.1365-2311.1986.tb00325.x.

Pedgley, D.E., Tucker, M.R., Pawar, C.S. (1987) Windborne migration of *Heliothis armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in India, *International Journal of Tropical Insect Science*, vol. 8, no. 4-5-6, pp. 599-604, doi: 10.1017/S1742758400022669.

Qureshi, M.H., Mura, T., Yoshida, H., Shiraga, T., Tsumuki, H. (1999) Effects of photoperiod and temperature on development and diapause induction on the Okayama population of *Helicoverpa armigera* (Hb.) (Lepidoptera: Noctuidae), *Applied Entomology and Zoology*, vol. 34, no. 3, pp. 327-331, doi: 10.1303/aetz.34.327.

Riaz, S., Johnson, J.B., Ahmad, M., Fitt, G.P., Naiker, M. (2021) A review on biological interactions and management of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), *Journal of Applied Entomology*, vol. 145, no. 6, pp. 467-498, doi: 10.1111/jen.12880.

Riley, J.R., Armes, N.J., Reynolds, D.R., Smith, A.D. (1992) Nocturnal observations on the emergence and flight behaviour of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in the post-rainy season in central India, *Bulletin of Entomological Research*, vol. 82, no. 2, pp. 243-256, doi: 10.1017/S0007485300051798.

Rios, D.A.M., Specht, A., Roque-Specht, V.F., Sosa-Gómez, D.R., Fochezato, J., Malaquias, J.V., Gonçalves, G.L., Moreira, G.R. (2022) *Helicoverpa armigera* and *Helicoverpa zea* hybridization: constraints, heterosis, and implications for pest management, *Pest Management Science*, vol. 78, no. 3, pp. 955-964, doi: 10.1002/ps.6705.

Rochester, W.A., Dillon, M.L., Fitt, G.P., Zalucki, M.P. (1996) A simulation model of the long-distance migration of *Helicoverpa* spp. moths, *Ecological Modelling*, vol. 86, no. 2-3, pp. 151-156, doi: 10.1016/0304-3800(95)00043-7.

Ruan, J., Yang, Y., Carrière, Y., Wu, Y. (2024) Development of resistance monitoring for *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to pyramided Bt cotton in China, *Journal of Economic Entomology*, vol. 117, no. 5, pp. 2093-2099, doi: 10.1093/jee/toae194.

Sharma, H.C., Srivastava, C.P., Durairaj, C., Gowda, C.L.L. (2010) Pest management in grain legumes and climate change, *Climate change and management of cool season grain legume crops*, in S.S. Yadav, D.L. McNeil, R. Redden, S.A. Patil (eds.), Dordrecht, Netherlands: Springer Science, pp. 115-140.

Silva, I.F., Baldin, E.L., Specht, A., Sosa-Gómez, D.R., Roque-Specht, V.F., Morando, R., Paula-Moraes, S.V. (2018) Biotic potential and life table of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) from three Brazilian regions, *Neotropical Entomology*, vol. 47, pp. 344-351, doi: 10.1007/s13744-017-0529-8.

Srinivasa Rao, M., Rama Rao, C.A., Raju, B.M.K., Subba Rao, A.V.M., Gayatri, D.L.A., Islam, A., Prasad, T.V., Navya, M., Srinivas, K., Pratibha, G., Srinivas, I., Prabhakar, M., Yadav, S.K., Bhaskar, S., Singh, V.K., Chaudhari, S.K. (2023) Pest scenario of *Helicoverpa armigera* (Hub.) on pigeonpea during future

climate change periods under RCP based projections in India, *Scientific Reports*, vol. 13, no. 1, article number 6788, doi: 10.1038/s41598-023-32188-1.

Srivastava, C.P., Joshi, N., Trivedi, T.P. (2010) Forecasting of *Helicoverpa armigera* populations and impact of climate change, *Indian Journal of Agricultural Sciences*, vol. 80, no. 1, pp. 3-10.

Tay, W.T., Soria, M.F., Walsh, T., Thomazoni, D., Silvie, P., Behere, G.T., Anderson, C., Downes, S. (2013) A brave new world for an old world pest: *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil, *PloS One*, vol. 8, no. 11, article number e80134, doi: 10.1371/journal.pone.0080134.

Tripathi, S.R., Singh, R. (1991) Population dynamics of *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae), *International Journal of Tropical Insect Science*, vol. 12, no. 4, pp. 367-374, doi: 10.1017/S174275840001122X.

Twine, P.H. (1978) Effect of temperature on the development of larvae and pupae of the corn earworm, *Heliothis armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae), *Queensland Journal of Agricultural and Animal Sciences*, vol. 35, no. 1, pp. 23-28.

Yadav, S.P.S., Lahutiya, V., Paudel, P. (2022) A review on the biology, ecology, and management tactics of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, vol. 10, no. 12, pp. 2467-2476, doi: 10.24925/turjaf.v10i12.2467-2476.5211.

Zalucki, M.P., Daglish, G., Firempong, S., Twine, P. (1986) The biology and ecology of *Heliothis armigera* (Hubner) and *Heliothis punctigera* Wallengren (Lepidoptera, Noctuidae) in Australia – what do we know? *Australian Journal of Zoology*, vol. 34, no. 6, pp. 779-814, doi: 10.1071/zo9860779.

Zalucki, M.P., Furlong, M.J. (2005) Forecasting *Helicoverpa* populations in Australia: a comparison of regression based models and a bioclimatic based modelling approach, *Insect Science*, vol. 12, no. 1, pp. 45-56, doi: 10.1111/j.1672-9609.2005.00007.x.

Статья поступила в редакцию (Received): 16.11.2024.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 01.12.2024.

Принята к публикации (Accepted): 13.12.2024.

Для цитирования / For citation:

Богданович, А.Ю., Фролов, А.Н., Семенов, С.М. (2025) Современный климатический ареал хлопковой совки и его трансформация в XXI веке вследствие изменения климата, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 11, № 1, с. 8-54, doi:10.21513/2410-8758-2025-1-8-54.

Bogdanovich, A.Yu., Frolov, A.N., Semenov, S.M. (2025) The current climatic range of the cotton bollworm and its transformation in 21st century due to climate change, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 11, no. 1, pp. 8-54, doi:10.21513/2410-8758-2025-1-8-54.

Биоклиматическое районирование России с использованием Универсального термического климатического индекса (UTCI) в условиях современного и будущего климатов

В.В. Виноградова, Т.Б. Туткова*

Институт географии РАН,
Россия, 109017, Москва, Старомонетный пер., 29

*Адрес для переписки: vvvinog@yandex.ru

Реферат. На основании Универсального термического климатического индекса UTCI проведена оценка биоклиматических условий на территории России в начале и середине XXI века. Исследовались зимние и летние особенности UTCI в условиях современного (2000-2022 гг.) и будущего климата (2040-2059 гг.) для двух сценариев: «мягкого» (SSP1-2.6) и «жесткого» (SSP5-8.5). Расчет среднесуточных значений индекса UTCI на территории России был выполнен с использованием программного пакета BioKlima 2.6. Для расчета использовались ежедневные данные трех моделей, участвующих в CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project): Института вычислительной математики РАН, Метеорологического офиса Хэдли Центра и Метеорологического института им. Макса Планка. Показано, что на территории России в условиях современного и будущего климата для обоих сценариев преобладают условия холодового стресса. Зимой практически на всей территории наблюдается холодовой стресс различных градаций, а летом – условия отсутствия теплового стресса, включая комфортные условия. Методом кластеризации k-средних выполнено биоклиматическое районирование территории России для периодов 2000-2022 гг., по данным метеорологической сети, и для периода 2040-2059 гг. – по данным 3-х глобальных климатических моделей. На территории России выделено четыре квазиоднородных района по продолжительности благоприятных и неблагоприятных биоклиматических условий. Установлено, что в будущем климате можно ожидать существенное уменьшение площади района с наихудшими биоклиматическими условиями и расширение наиболее «теплого» района, по сценарию SSP5-8.5, по сравнению со сценарием SSP1-2.6.

Ключевые слова. Универсальный термический климатический индекс (UTCI), холодовой стресс, тепловые нагрузки, тепловой комфорт, кластерный анализ, метод k-средних, модельные прогнозы, сценарии изменения климата.

Bioclimatic zoning of Russia using the universal thermal index (UTCI) in current and future climates

V.V. Vinogradova, T.B. Titkova*

Institute of Geography RAS,
29, Staromonetnyi lane, 109017, Moscow, Russian Federation

*Correspondence address: vvvinog@yandex.ru

Abstract. Based on the Universal Thermal Climate Index (UTCI), an assessment of bioclimatic conditions in Russia at the beginning and middle of the 21st century was conducted. Winter and summer features of the UTCI were examined under present (2000-2022) and future (2040-2059) climates for two scenarios: a “mild” scenario (SSP1-2.6) and a “severe” scenario (SSP5-8.5). The calculation of daily mean UTCI values across Russia was performed using the BioKlima 2.6 software package. Daily data from three models participating in CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project) were used for the calculations: the Institute of Numerical Mathematics of the Russian Academy of Sciences, the UK Met Office Hadley Centre, and the Max Planck Institute for Meteorology. It was shown that, under both current and future climates, cold stress conditions dominate in Russia for both scenarios. Cold stress of varying degrees is observed throughout most of the territory in winter, while in summer, conditions are characterized by the absence of heat stress, including comfortable conditions. Using the k-means clustering method, bioclimatic zoning of Russia was conducted for the periods 2000-2022 (based on meteorological network data) and 2040-2059 (based on data from 3 global climate models). Four quasi-homogeneous regions were identified in Russia based on the duration of favorable and unfavorable bioclimatic conditions. It has been established that, in the future climate, a significant reduction in the area with the worst bioclimatic conditions and an expansion of the “warmest” region can be expected under the SSP5-8.5 scenario, compared to the SSP1-2.6 scenario.

Keywords. Universal Thermal Climate Index (UTCI), cold stress, heat load, thermal comfort, cluster analysis, k-means method, model projections, climate change scenarios.

Введение

В Докладе об изменении климата IPCC говорится, что антропогенное изменение климата уже влияет на многие метеорологические и климатические экстремальные события во всех регионах Земного шара (IPCC, 2021). С ним связывают возникновение волн тепла и холода, засух и сильных ливней (NASEM, 2016; Fowler et al., 2021). В частности, волны тепла становятся самой смертоносной метеорологической опасностью (WMO, 2019). При этом, с 1980-х годов каждое последующее десятилетие было теплее, чем предыду-

щее, а десятилетие 2011-2020 гг. стало самым теплым за всю историю наблюдений (WMO, 2021).

Практически на всей территории России также происходит потепление различной степени интенсивности (Третий..., 2022). Скорость роста осредненной по России среднегодовой температуры за 1976-2023 гг. составила $+0.5^{\circ}\text{C}/10$ лет. Максимум летнего потепления отмечается на юге ЕЧР. Минимум потепления в среднем за год отмечен на юге Сибири и на востоке Якутии, где зимой все еще наблюдается небольшая область убывания температуры (Доклад..., 2024).

Воздействие текущих и будущих климатических условий на человека может быть оценено с помощью биоклиматических индексов. Универсальный термический климатический индекс (Universal Thermal Climate Index – UTCI) – один из наиболее современных индексов, учитывающих комплексное воздействие на человека температуры, скорости ветра, солнечной радиации и влажности воздуха. Этот индекс используется в различных областях биометеорологии человека как для оценки краткосрочного воздействия погоды, так и для оценок последствий долгосрочных изменений климата, а также в эпидемиологии, медицинских исследованиях, биометеорологических прогнозах, туризме и рекреации, оценке биоклимата разного масштаба (Staiger et al., 2019; Katavoutas et al., 2022). Универсальная шкала оценок UTCI делает его независимым от характеристик населения, уровня акклиматизации и индивидуальных особенностей человека (например, возраста, массы тела и состояния здоровья), а основана на оценке теплового стресса. Индекс может применяться в любых климатических условиях, а результаты, полученные в разных районах, полностью сопоставимы (Błażejczyk, Kunert, 2011; Błażejczyk, Błażejczyk, 2014). UTCI может применяться в ключевых областях биометеорологии человека, таких, как ежедневное прогнозирование и предупреждения, городское и региональное планирование, экологическая эпидемиология и исследования воздействия климата на человека (Pappenberger et al. 2015; Pappenberger, Hannah, 2018). Di Napoli et al. (2018) использовали UTCI в анализе термической биоклиматической изменчивости в Европе и показали связь между этой изменчивостью и здоровьем человека, в частности увеличение теплового стресса в Европе за последние десятилетия способствовало росту смертности в условиях умеренного и сильного теплового стресса даже при росте индекса UTCI на 1°C (по индексной шкале). Этот индекс был использован Błażejczyk and Kunert (2011) для исследования сезонных особенностей биоклимата и региональной изменчивости биоклимата в Европе, что позволило объяснить, почему определенные сезоны и регионы могут быть опасными для человека с точки зрения его физиологических реакций на внешние раздражители.

Оценка биоклиматических условий на территории России при помощи этого индекса показала, что на большей части территории страны в условиях современного климата преобладают условия холодного стресса, но отмечается тенденция улучшения биоклиматических условий в северных регионах и

увеличения тепловой нагрузки на юге европейской территории (Виноградова, 2019; Vinogradova, 2021). Сравнительный анализ биоклиматических условий по индексу UTCI Чукотки и Аляски показал, что за период 1979-2020 гг. частота возникновения экстремальных холодов на Аляске и Чукотке снизилась приблизительно на 25% (Grigorieva et al., 2023).

При проведении географических исследований, в частности изучения воздействия текущих и будущих климатических условий на человека, как правило, возникает потребность выделения пространства с математически обоснованной высокой схожестью параметров, т.е. нахождение групп (кластеров) квазиоднородных районов по продолжительности благоприятных и неблагоприятных биоклиматических условий.

Целью работы является выделение на территории России методом кластеризации *k*-средних квазиоднородных районов по продолжительности благоприятных (комфорт) и неблагоприятных (холодовой и тепловой стресс) биоклиматических условий для современного периода 2000-2022 гг., по данным метеосети и возможных будущих изменений биоклиматических условий, середине XXI века (2040-2059 гг.), по данным трех глобальных климатических моделей CMIP6 с использованием универсального термического климатического индекса (UTCI), для двух контрастных сценариев SSP1-2.6 и SSP5-8.5.

Материалы и методы

Оценка биоклиматических условий на территории России в начале и середине XXI века проводилась с использованием Универсального термического климатического индекса UTCI. Индекс основан на многоузловой модели Fiala теплового баланса человека (Fiala et al., 2012) и показывает тепловой стресс окружающей среды, действующий на организм человека (De Freitas, Grigorieva, 2017). Индекс UTCI отражает термические условия окружающей среды и применяется в основных областях биометеорологии человека (Błażejczyk et al., 2010; 2013; Bröde et al., 2010; 2012; Jendritzky et al., 2009; 2012). Индекс UTCI можно охарактеризовать как эквивалентную температуру окружающей среды ($^{\circ}\text{C}$), которая оказывает такое же физиологическое воздействие на человека, как и фактическая окружающая среда (Bröde et al., 2012). Отклонение UTCI от температуры воздуха (T_a) зависит от фактических значений температуры воздуха, средней лучистой температуры (T_{mrt}), скорости ветра (v_a) и влажности, выраженной как упругость водяного пара (e) или относительная влажность (R) (Błażejczyk et al., 2013)

$$\text{UTCI} = f(T_a; T_{\text{mrt}}; v_a; e) = T_a + \Delta(T_a; T_{\text{mrt}}; v_a; e)$$

Оценочная шкала индекса UTCI основана на различных комбинациях температуры прямой кишки и кожи, потоотделения, озноба и т.д. Градации UTCI, с точки зрения теплового воздействия на человека, представлены в табл. 1 (Błażejczyk et al., 2013; Bröde et al., 2012; Fiala et al., 2012).

Таблица 1. Классификация индекса UTCI с точки зрения теплового воздействия на человека

Table 1. Classification of the UTCI in terms of human thermal exposure

Диапазон UTCI (°C)	Категория стресса	Физиологические реакции
Выше +46	Крайний тепловой стресс	Увеличение градиента ректальной температуры (T_{re}). Резкое снижение общей чистой потери тепла. Резкое увеличение интенсивности потоотделения > 650 г/ч.
+38 до +46	Очень сильный тепловой стресс	Градиент температуры к коже < 1 °K (за 30 мин.). Увеличение T_{re} за 30 мин.
+32 до +38	Сильный тепловой стресс	Динамическое тепловое ощущение (DTS) за 120 мин. > +2. Усредненная скорость потоотделения > 200 г/ч. Увеличение T_{re} за 120 мин. Скрытые тепловые потери > 40 Вт за 30 мин. Мгновенное изменение температуры кожи > 0 °K/мин.
+26 до +32	Умеренный тепловой стресс	Изменение градиентов скорости потоотделения, T_{re} и температуры кожи: средней (T_{skm}), лица (T_{skfc}), рук (T_{skhn}). Появление потоотделения через 30 мин. Резкое увеличение влажности кожи.
+9 до +26	Нет теплового стресса	Средняя скорость потоотделения > 100 г/час. DTS за 120 мин. < 1. DTS от -0.5 до 0.5 (среднее значение). Средние скрытые потери тепла > 40 Вт. Плато во временном градиенте T_{re} .
+9 до 0	Слабый холодовой стресс	DTS за 120 мин. < -1. Локальный минимум T_{skhn} (используйте перчатки).
0 до -13	Умеренный холодовой стресс	DTS за 120 мин. < -2. Кожный кровоток при 120 мин. меньше, чем при 30 минутах (сужение сосудов). Средняя T_{skfc} < 15 °C (боль). Снижение T_{skhn} . Градиент T_{re} < 0 °K/ч. За 30 мин. температура кожи лица T_{skfc} < 15 °C (боль). Градиент < -1 °K/ч (для сравнения).
-13 до -27	Сильный холодовой стресс	Средняя T_{skfc} < 7 °C (онемение). Градиент T_{re} < -0.1 °K/ч. T_{re} уменьшается от 30 до 120 мин. Увеличение градиента температуры в теле.
-27 до -40	Очень сильный холодовой стресс	За 120 мин. T_{skfc} < 0 °C (обморожение). Более резкое снижение T_{re} . За 30 мин. T_{skfc} < 7 °C (онемение). Появление дрожи. Градиент T_{re} < -0.2 °K/ч. Средняя T_{skfc} < 0 °C (обморожение). За 120 мин. T_{skfc} < -5 °C (высокий риск обморожения).
Ниже -40	Экстремальный холодовой стресс	Градиент T_{re} < -0.3 °K/ч. За 30 мин. T_{skfc} < 0 °C (обморожение).

Диапазон значений UTCI от +18 до +26°C может считаться «зоной теплового комфорта».

Для расчетов индекса UTCI были использованы среднесуточные значения приземной температуры воздуха, скорости ветра, влажности воздуха и атмосферного давления за период 2040-2059 гг. (Corernicus, 2021), полученные на основе результатов расчетов трех моделей участвующих в CMIP6, и для двух сценариев изменения климата: SSP1-2.6 и SSP5-8.5 (IPCC, 2021). Это

сценарий с очень высокими выбросами парниковых газов, которые примерно вдвое превышают нынешние уровни к 2100 г. (SSP5-8.5) и сценарий с низкими выбросами, которые снижаются до чистого нуля, примерно к 2050 г. (SSP1-2.6). В сценарии SSP1-2.6 предполагается усиление контроля за загрязнением воздуха за счет заметной декарбонизации. Использовались результаты расчетов глобальных климатических моделей Института вычислительной математики РАН INM-CM5-0 (Володин и др., 2017), Метеорологического офиса Хэдли Центра HadGEM3-GC31 (Williams et al., 2017) и Метеорологического института им. Макса Планка MPI-ESM1-2-LR (Mauritsen, Roeckner, 2020) (табл. 2).

Таблица 2. Основные характеристики использованных моделей

Table 2. Main characteristics of used models

Модель	Организация	Характеристики	Шаг по широте и долготе
INM-CM5-0	Институт вычислительной математики РАН	Модель включает в себя компоненты: аэрозоль: атмосфера, земля, океан, морской лед.	1.5° (широта) × 2° (долгота)
HadGEM3-ES	Метеорологический офис Центра Хэдли	Модель включает в себя компоненты: аэрозоль, земля, океан, морской лед.	1.25° (широта) × 1.875° (долгота)
MPI-ESM1-2-LR	Институт метеорологии им. Макса Планка	Модель включает в себя компоненты: аэрозоль, земля, океан, морской лед	1.865° (широта) × 1.875° (долгота)

Выбор этих моделей обусловлен тем, что эти модели успешно воспроизводят основные климатические характеристики именно на территории России по сравнению с эмпирическими данными. Также модели Метеорологического офиса Хэдли Центра и Метеорологического института им. Макса Планка использовались для оценки биоклиматических условий будущего климата в европейских городах и на курортах Турции и показали хорошие результаты при сравнении с данными наблюдений (Katavoutas et al., 2022; Bilgin et al., 2024).

Были рассчитаны среднесуточные значения UTCI как отдельно для каждой модели, так и среднее значение для трех моделей. Для этого данные трех моделей были приведены к единому шагу $2^\circ \times 2^\circ$ по широте и долготе. Оценка биоклиматических условий для современного периода 2000-2022 гг. проводилась по данным метеорологических станций на территории России из архива ВНИИГМИ-МЦД (www.meteo.ru). Для всех расчетов UTCI использовался программный пакет BioKlima © 2.6¹⁾.

Проведенное нами ранее сравнение индекса UTCI по станционным и модельным данным показало хорошее сходство значений двух массивов, но

¹⁾ BioKlima 2.6, software package, <http://www.igipz.pan.pl/geoeckoklimat/blaz/bio-klima.htm>

модели несколько занижают значения UTCI по сравнению со стационарными данными, хотя, в целом использование модельных данных для расчета UTCI допустимо, особенно учитывая широкие диапазоны градаций индекса.

По значениям индекса, осредненным для трех моделей для периода 2040-2059 гг., построены карты распределения UTCI для зимних и летних условий. Аналогичные карты построены для современного периода (2000-2022 гг.) по стационарным данным. Получены оценки и процента дней с тепловым и холодным стрессом и комфортом на территории России в условиях современного и будущего климата были использованы для проведения кластерного анализа с целью выделения на территории России квазиоднородных регионов по продолжительности благоприятных и неблагоприятных биоклиматических условий. С помощью метода кластеризации k -средних было выполнено биоклиматическое районирование территории России для периодов 2000-2022 гг., по данным метеорологической сети, и для периода 2040-2059 гг. – по данным 3-х глобальных климатических моделей CMIP6.

Метод кластерного анализа активно применяется в том числе в климатических и географических исследованиях (Гилязов, 2015; Золотокрылин и др., 1998; Поляков, Кужевская, 2012; Эзау, 1995). Кластерный анализ – это метод группировки объектов на кластеры (группы) на основе схожести их характеристик. Наиболее часто используются методы иерархической кластеризации и метод k -средних вероятностного подхода (Гилязов, 2015).

Метод k -средних заключается в разбиении множества элементов векторного пространства на заранее известное число кластеров k . На каждой итерации перевычисляется центр масс для каждого кластера, полученного на предыдущем шаге, затем векторы разбиваются на кластеры вновь в соответствии с тем, какой из новых центров оказался ближе по выбранной метрике. Алгоритм завершается, когда на какой-то итерации не происходит изменения центра масс кластеров (https://en.wikipedia.org/wiki/Cluster_analysis). К достоинствам этого метода можно отнести относительную простоту и быстродействие алгоритма, а также хорошую производительность на больших данных. Недостатком метода является необходимость заранее задать число кластеров. Для определения числа кластеров были использованы индекс Дэвиса-Боулдина и метод «локтя». Поскольку алгоритмы, которые создают кластеры с низкими внутрикластерными расстояниями (высокое внутрикластерное сходство) и высокими межкластерными расстояниями (низкое межкластерное сходство), будут иметь низкий индекс Дэвиса-Боулдина, алгоритм кластеризации, который создает набор кластеров с наименьшим индексом Дэвиса-Боулдина, считается лучшим алгоритмом на основе этого критерия (https://en.wikipedia.org/wiki/Cluster_analysis). По методу «локтя» вычисляется сумма внутрикластерных расстояний (SSE) для каждого значения k (число кластеров) и строится график зависимости суммы расстояний от k . Оптимальным считается значение k , при котором происходит резкое замедление уменьшения суммы расстояний. Оба метода показали, что оптимальное число кластеров равно четырем (рис. 1, табл. 3).

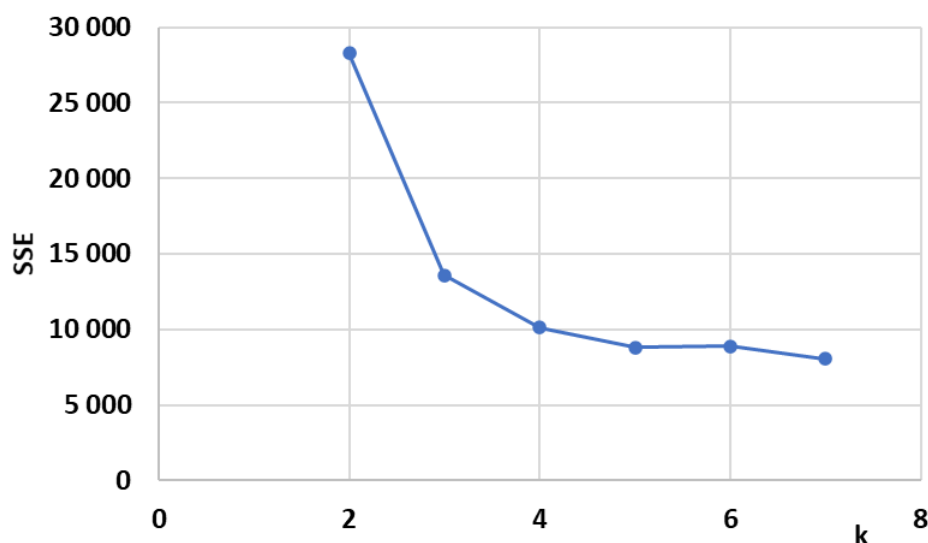


Рисунок 1. Метод локтя для определения оптимального числа кластеров

Figure 1. Elbow method to determine the optimal number of clusters

Таблица 3. Индекс Дэвиса-Боулдина для определения оптимального числа кластеров

Table 3. Davis-Bouldin index to determine optimal number of clusters

Число кластеров	Индекс Дэвиса-Боулдина
3	0.254
4	0.158
5	0.206

Результаты и дискуссия

Для современного (2000-2022 гг.) и будущего климата (2040-2059 гг.) были построены карты зимних и летних значений индекса (рис. 2). Как уже отмечалось в (Vinogradova, 2021), на территории России может наблюдаться большинство градаций UTCI, а точнее, все градации холодового стресса и почти все теплового. В современном климате зимой на всей территории отмечается холодовой стресс различных градаций: от экстремального – на Арктическом побережье Сибири до умеренного – на юге европейской территории. На азиатской части преобладает очень сильный и сильный холодовой стресс (на юге), а на европейской – сильный холодовой стресс и умеренный холодовой стресс южнее 50° с.ш. (рис. 2а). Зимой в будущем климате, по обоим сценариям на значительной территории будет преобладать экстремальный и очень сильный холодовой стресс (рис. 2б, в). Но зона экстремального холодового стресса будет наблюдаться на побережье Северного Ледовитого океана от Ямала до севера Чукотки (Grigorieva, et al., 2023), расширяясь на юг (при-

близительно до 65° с.ш.) на севере Красноярского края по сценарию SSP1-2.6 (рис. 2б). По сценарию SSP5-8.5 область экстремального холодового стресса сокращается на Арктическом побережье Якутии и наблюдается на Арктических островах (рис. 2в). Очень сильный холодовой стресс будет отмечаться на севере европейской территории, на Урале, в азиатской части страны, кроме юга Западной и Центральной Сибири (за исключением горного Алтая) и южной половины Камчатки. На большей части европейской территории, на юге Сибири и Камчатки зимние условия по индексу UTCI будут охарактеризовываться как сильный холодовой стресс. Умеренный холодовой стресс будет наблюдаться южнее 50° с.ш. европейской территории по обоим сценариям (рис. 2б, в). По сценарию SSP5-8.5 область очень сильного холодового стресса сокращается на северо-западе европейской территории, а на юге расширяется область умеренного холодового стресса (рис. 2в). Те же тенденции снижения частоты холодового стресса отмечаются в городах Северной Европы (Antonescu et al., 2021; Founda et al., 2019).

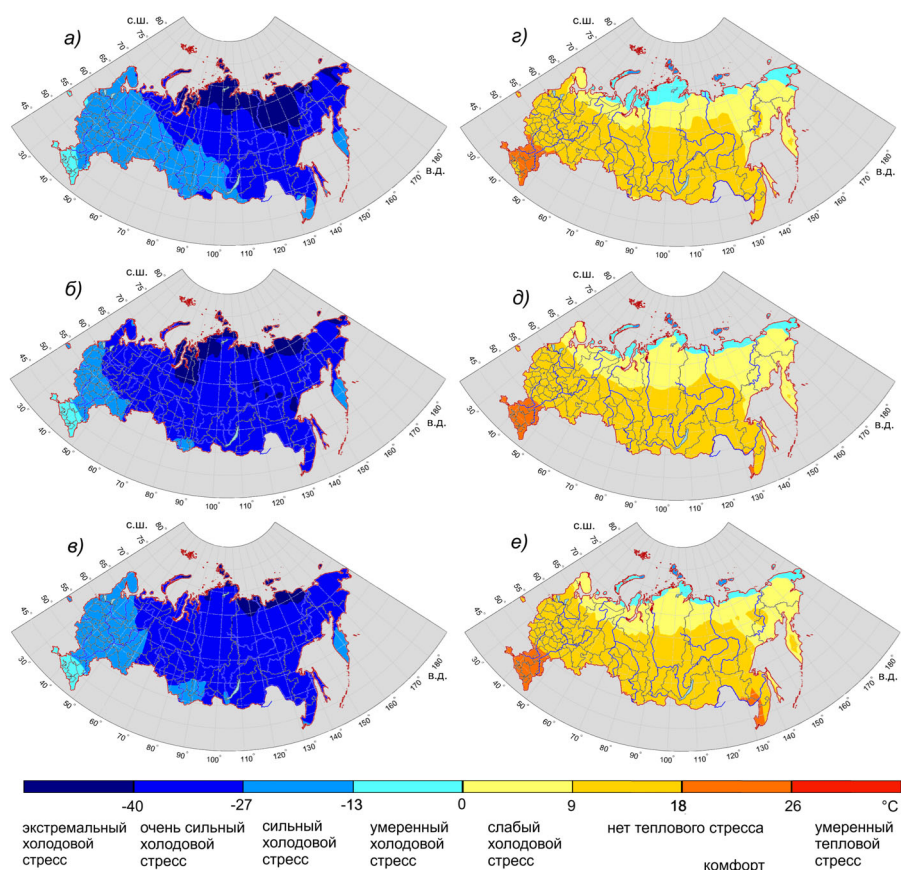


Рисунок 2. Средние значения UTCI зимой (декабрь-февраль) (а, б, в) и летом (июнь-август) (г, д, е) для периода 2000-2022 гг. (а, г) и для периода 2040-2059 гг. по сценарию SSP1-2.6 (б, д) и сценарию SSP5-8.5 (в, е) – среднее по трем моделям

Figure 2. Average UTCI values in winter (December-February) (a, b, c) and summer (June-August) (y, d, e) for the period 2000-2022 (a, d) and for the period 2040-2059 for scenario SSP1-2.6 (b, d) and scenario SSP5-8.5 (c, e) – average for three models

Летом (июнь-август) индекс UTCI представлен тремя градациями: от умеренного холодного стресса на Арктических островах и на побережье Северного Ледовитого океана до градации «нет теплового стресса», которая занимает большую часть России. Зона комфорта, значения UTCI от +18 до +26°C, занимает южную часть европейской территории, южнее 50° с.ш. и самый юг Приморского края (рис. 2г). Для сценариев будущего климата индекс UTCI представлен теми же градациями (рис. 2д, е). На большей части территории России преобладают условия отсутствия теплового стресса, включая комфорт, а севернее 65° с.ш. – слабого и умеренного холодного стресса. Область комфорта будет расширяться по сценарию SSP5-8.5, по сравнению со сценарием SSP1-2.6, на юге европейской территории и Приморского края, при этом все «более теплые» градации UTCI сдвигаются на север, примерно на 1-2° широты (рис. 2е). Но на юге европейской территории в дневные часы могут наблюдаться условия умеренного теплового стресса (Vinogradova, 2021). Это согласуется с прогнозами для южных городов Центральной Европы, где периоды сильной жары станут более частыми и интенсивными в будущем климате (Guerreiro et al., 2018).

Полученные оценки и проценты дней с тепловым, холодным стрессом и отсутствием теплового стресса позволили выделить методом кластеризации k-средних на территории России четыре квазиоднородные района по продолжительности благоприятных и неблагоприятных биоклиматических условий (рис. 3).

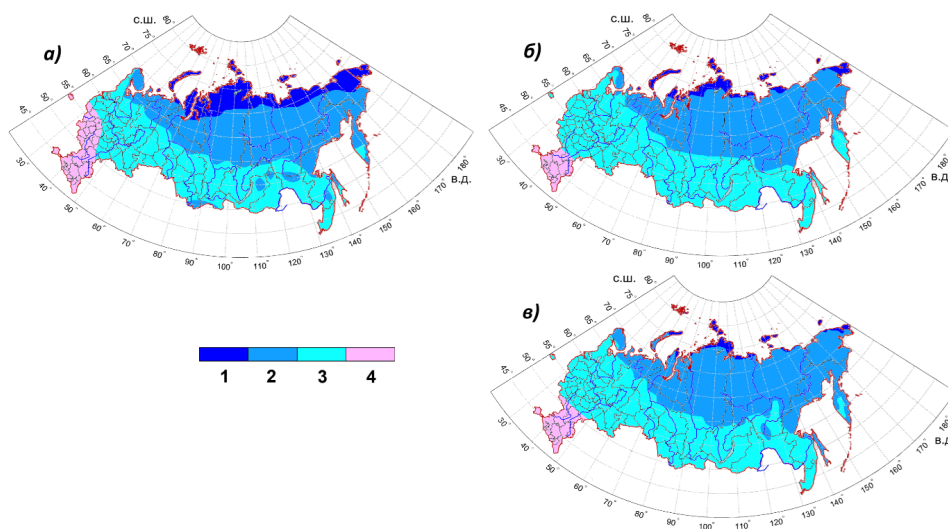


Рисунок 3. Квазиоднородные биоклиматические районы по индексу UTCI для периода 2000-2022 гг. (а) и для периода 2040-2059 гг. – по сценарию SSP1-2.6 (б) и сценарию SSP5-8.5 (в)

Figure 3. UTCI quasi-heterogeneous bioclimatic regions for period 2000-2022 (a) and for period 2040-2059 under scenario SSP1-2.6 (b) and scenario SSP5-8.5 (c)

Первому району присущи наиболее суровые условия. Здесь средняя продолжительность холодного стресса, самых суровых градаций (от экстремального до сильного) составляет около 70%, т.е. более 8 месяцев в году.

Дней с тепловым стрессом (жарой) здесь вообще нет, а условия «нет теплового стресса» отмечаются в среднем 5% дней, или 15 дней в году. В современном климате (2000-2022 гг.) этот район охватывает Арктическое побережье и острова, полуострова Таймыр и Чукотка (рис. 3а). В середине XXI века по обоим сценариям южная граница этого района сдвигается на север и по сценарию SSP5-8.5 такие условия будут отмечаться только на Арктических островах (рис. 3б, в). Границы этого района во многом совпадают с границами абсолютно дискомфортной зоны на картах «Районирования территории России по природным условиям жизни населения» (Золотокрылин и др., 2012, Виноградова и др., 2022).

Большая часть второго района расположена на северо-востоке страны и характеризуется чуть менее суровыми условиями. Средняя продолжительность сильного холодового стресса здесь более полугода, а условий без холодового стресса – около 10% дней, т.е. более месяца. Жарких дней здесь может быть менее 1% процента дней. В оставшуюся часть года здесь отмечается умеренный холодовой стресс (от 0 до -13°CUTCI).

В современном климате этот район расположен на севере европейской территории, расширяясь на юг на азиатской территории приблизительно до 65° с.ш. и до 50° с.ш. в Магаданской области (рис. 3а). В 2040-2059 гг. на азиатской части страны можно ожидать продвижение этого района как в северном, так и в южном направлении приблизительно до 60° с.ш. (рис. 3б, в). Южную границу этого района можно соотнести с южной границей неблагоприятной зоны на карте (Золотокрылин и др., 2012).

Третий район занимает значительную часть территории России, как в современном, так и в будущем климате (рис. 3). Для него характерна продолжительность сильного холодового стресса около 40% дней в году, или около 5 месяцев; благоприятные условия с градацией «нет теплового стресса» длятся примерно 3 месяца, а тепловой (жаркий) стресс – до одной недели. В современных условиях на европейской территории этот район занимает восточную часть европейской территории, а западную ее часть относят к четвертому району. В будущем климате третий район занимает большую часть европейской территории (рис. 3).

В начале XXI века четвертый район занимает западную и южную часть европейской территории, соответствуя благоприятной зоне на карте «Районирования территории России по природным условиям жизни населения» (Золотокрылин и др., 2012), а в середине XXI века – только на южную ее часть (рис. 3). В этом районе длительность сильного холодового стресса составляет полтора-два месяца. Больше четырех месяцев условия здесь соответствуют градации «нет теплового стресса», а жаркий стресс может длиться полмесяца и более.

На рис. 4 представлено изменение площадей биоклиматических районов в современном и модельном климатах. В первую очередь обращает на себя внимание значительное уменьшение площади первого района в середине XXI века на 9 процентных пунктов (п.п.) по сценарию SSP1-2.6 и на 13 п.п. по сценарию SSP5-8.5 по сравнению с современным климатом. Площадь второго и

третьего районов увеличивается в 2040-2059 гг. по обоим сценариям, причем площадь второго района увеличится в основном за счет сокращения первого района. В будущем климате площадь третьего района увеличивается на 2 п.п. по сценарию SSP1-2.6 и на 8 п.п. по сценарию SSP5-8.5 за счет продвижения этого района на север. В середине XXI века площадь четвертого района уменьшается, поскольку, по модельным прогнозам, к нему не относятся западные районы европейской части России. Но по сценарию SSP5-8.5 площадь этого района станет больше, по сравнению со сценарием SSP1-2.6, за счет его расширения на север.

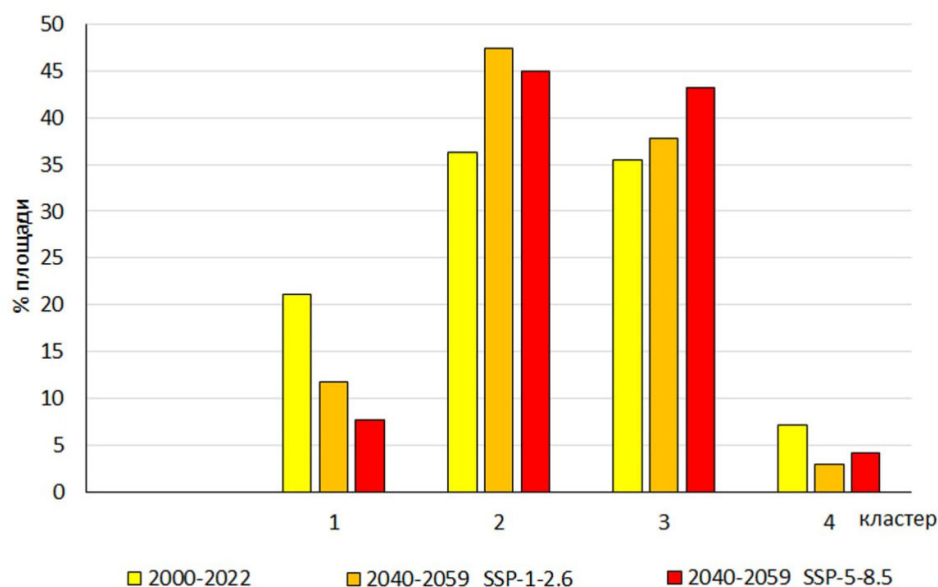


Рисунок 4. Площадь биоклиматических районов по индексу UTCI (% от территории России) для периода 2000-2022 гг. и для периода 2040-2059 гг. по сценариям SSP1-2.6 и сценарию SSP5-8.5

Figure 4. The area of bioclimatic regions according to the UTCI index (% of the territory of Russia) for the period 2000-2022 and for the period 2040-2059 according to SSP1-2.6 scenarios and scenario SSP5-8.5

Заключение

По-прежнему можно констатировать, что как в современном, так и в будущем климате в России будет преобладать холодовой стресс различных градаций, но в середине XXI века (2040-2059 гг.) можно ожидать увеличения числа дней с тепловым стрессом, особенно на юге и по сценарию SSP5-8.5.

Проведенное биоклиматическое районирование на основании продолжительности периодов с тепловым и холодовым стрессом и нейтральных условий позволили выделить на территории России четыре района, границы которых во многом соответствуют карте «Районирования территории России по природным условиям жизни населения» (Золотокрылин и др., 2012).

В будущем климате можно ожидать существенное уменьшение площади первого района с наихудшими биоклиматическими условиями по индексу UTCI. Для сценария SSP5-8.5 возможно расширение наиболее «теплого» – четвертого района – на север, по сравнению со сценарием SSP1-2.6 и увеличения площади третьего района, в основном, за счет более неблагоприятного второго.

Полученные результаты позволяют лучше оценить продолжительность различных градаций теплового стресса на территории России и его изменения в будущем климате, что имеет важное значение, поскольку может привести к более целенаправленным действиям, которые могли бы быть приняты политиками в стратегиях адаптации, особенно в южных городах, где население особенно уязвимо к тепловому риску, и на северо-востоке страны, где по-прежнему значительно воздействие холодового стресса. Прогнозируемые изменения повторяемости оптимальных тепловых условий (отсутствие теплового и холодового стресса), помимо влияния на качество жизни и самочувствие людей, будет способствовать возможному перераспределению туристских потоков в регионы с преобладанием оптимальных тепловых условий большую часть года.

«Исследование выполнено при поддержке гранта Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-15-2024-554 от 24.04.2024)».

Список литературы

Виноградова, В.В. (2019) Универсальный индекс теплового комфорта на территории России, *Известия РАН серия геогр.*, № 2, с. 3-19.

Виноградова, В.В., Глезер, О.Б., Грачева, Р.Г., Дорина, А.Л., Золотокрылин, А.Н., Котов, А.В., Куричев, Н.К., Моргунов, Б.А., Поташников, В.Ю., Птичников, А.В., Проскурякова, Л.Н., Сафонов, Г.В., Сафонова, Ю.А., Семкина, А.А., Семилетов, И.П., Сизонов, А.Г., Стеценко, А.В., Титкова, Т.Б., Шахова, Н.Е., Шелудков, А.В. (2022) *Воздействие изменения климата на человеческий потенциал, экономику и экосистемы*, М., Издательский дом НИУ ВШЭ, 76 с.

Володин, Е.М., Мортиков, Е.В., Кострыкин, С.В., Галин, Б.Я., Лыкосов, В.Н., Грицун, А.С., Дианский, Н.А., Гусев, А.В., Яковлев, Н.Г. (2017) Воспроизведение современного климата в новой версии модели климатической системы ИВМ РАН, *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, т. 53, № 2, с. 164-178.

Гилязов, А.Ф. (2015) Кластерный анализ как инструмент районирования территории по крупности речных наносов (на примере бассейна Волги), *Вестник Удмуртского университета*, т. 25, вып. 2, с. 149-158.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2023 год (2024), М., Росгидромет, 104 с.

Золотокрылин, А.Н., Коняев, К.В., Эзау, И.Н. (1998) Сравнение синоптической и формальной классификаций крупномасштабной циркуляции атмосферы Северного полушария, *Метеорология и гидрология*, № 12, с. 34-44.

Золотокрылин, А.Н., Кренке, А.Н., Виноградова, В.В. (2012) *Районирование России по природным условиям жизни населения*, М., Геос, 156 с.

Полякова, Д.В., Кужевской, И.В. (2012) Применение кластерного анализа для оценки температурно-влажностных условий в период активной вегетации на территории юга Западной Сибири и его связь с гидротермическим коэффициентом Т.Г. Селянинова, *Вестник Томского государственного университета*, с. 188-192.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Под ред. В.М. Катцова (2022), Санкт-Петербург, Росгидромет, Научные технологии, 676 с.

Эзау, И.Н. (1995) Кластерный анализ данных наблюдений и результатов численных экспериментов с моделью ОЦА, *Метеорология и гидрология*, № 12, с. 40-53.

Antonescu, B., Mărmureanu, L., Vasilescu, J., Marin, C., Andrei, S., Boldeanu, M., Ene, D., Țilea, A. (2021) A 41-year bioclimatology of thermalstress in Europe, *Int. J. Climatol.*, vol. 41, pp. 3934-3952, <https://doi.org/10.1002/joc.7051>.

Bilgin, B., Acar, S., Demiralay, Z. et al. (2024) A synthetic approach to the Holiday Climate Index for the Mediterranean Coast of Türkiye, *Int. J. Biometeorol.*, vol. 68, pp. 1773-1787, <https://doi.org/10.1007/s00484-024-02704-7>.

Błażejczyk, K., Błażejczyk, A. (2014) Assessment of bioclimatic variability on regional and local scales in central Europe using UTCI, *Scientific annals of "Alexandru Ioan Cuza" University of Iași*, Geography series, vol. 60, no. 1, pp. 67-82.

Błażejczyk, K., Kunert, A. (2011) *Bioclimatic principles of recreation and tourism in Poland*, 2nd edn, Monografie IGiPZ PAN, Warszawa, (In Polish).

Błażejczyk, K., Broede, P., Fiala, D., Havenith, G., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Kunert, A. (2010) Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European scale, *Miscelanea Geographica*, no. 14, pp. 91-102.

Błażejczyk, K., Jendritzky, G., Bröde, P., Fiala, D., Havenith, G., Epstein, Y., Psikuta, A., Kampmann, B. (2013) An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI), *Geographia Polonica*, vol. 86, no. 1, pp. 5-10.

Bröde, P., Jendritzky, G., Fiala, D., Havenith, G. (2010) *The universal thermal climate index UTCI in operational use. Proceedings of conference, adapting to change: new thinking on comfort* Cumberland Lodge, Windsor, UK, 9-11, April 2010.

Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B. et al. (2012) Deriving the operational procedure for the universal thermal climate index (UTCI) *Int. J. Biometeorol*, vol. 56, no. 3, pp. 481-494, <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1>.

Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store (2021) CMIP6 climate projections. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), doi: 10.24381/cds.c866074c (Accessed on February-2023).

De Freitas. C.R., Grigorieva. E.A. (2017) A comparison and appraisal of a comprehensive range of human thermal climate indices, *Int. J. Biometeorol*, vol. 61, pp. 487-512, [http, doi: org/ 10. 1007/s00484-016-1228-6](http://doi.org/10.1007/s00484-016-1228-6).

Di Napoli C., Pappenberger F., Cloke H.L. (2018) Assessing heat related health risk in Europe via the Universal Thermal ClimateIndex (UTCI), *Int. J. Biometeorol*, vol. 62, pp. 1155-1165, [https:// doi. org/10. 1007/s00484-018-1518-2](https://doi.org/10.1007/s00484-018-1518-2).

Fiala, D., Havenith, G., Bröde, P., Kampmann, B., Jendritzky, G. (2012) UTCIFialamultinode model human heat transfer and thermal comfort, *Int. J. Biometeorol*, vol. 56, pp. 429-441.

Founda, D., Pierros, F., Katavoutas, G., Keramitsoglou, I. (2019) Observed trends in thermal stress at European cities with different background climates, *Atmosphere*, no. 10, pp. 436, <https://doi.org/10.3390/atmos10080436>.

Fowler, H.J., Lenderink, G., Prein, A.F. Westra, S., Allan, R.P., Ban, N., Barbero, R., Berg, P., Blenkinsop, S., Do, H.X., Guerreiro, S., Haerter, J.O., Kendon, E.J., Lewis, E., Schaer, C., Sharma, A., Villarini, G., Wasko, C., Zhang, X. (2021) Anthropogenic intensification of short-duration rainfall extremes, *Nature Reviews Earth & Environment*, <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00128-6>.

Grigorieva, E.A. Alexeev, V.A. Walsh, J.E. (2023) Universal thermal climate index in the Arctic in an era of climate change, Alaska and Chukotka as a case study, *Int J Biometeorol*, vol. 67, pp. 1703-1721, <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02531-2>.

Guerreiro, S.B., Dawson, R.J., Kilsby, C., Lewis, E., Ford, A. (2018) Future heat-waves, droughts and floods in 571 European cities, *Environ Res Lett.*, no. 13, pp. 034009, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaaad3>.

IPCC (2021) *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, in V.P. Masson-Delmotte, A. Zhai, S.L. Pirani, C. Connors, S. Péan, N. Berger, Y. Caud, L. Chen, M.I. Goldfarb, M. Gomis, K. Huang, E. Leitzell, J.B.R. Lonnoy, T.K. Matthews, T. Maycock, O. Waterfield, R.Yu. Yelekçi, B. Zhou (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3-32.

Jendritzky, G., Havenith, G., Weihs, P., Batchvarova, E. (eds.) (2009) *Towards a Universal Thermal Climate Index UTCI for assessing the thermal environment of the human being*, Final Report COSTAction 730.

Jendritzky, G., De Dear, R., Havenith, G. (2012) UTCI – why another thermalindex, *Int. J. Biometeorol.*, vol. 56, no. 3, pp. 421-428.

Katavoutas, G., Founda, D., Varotsos, K.V., Giannakopoulos, Ch. (2022) Climate change impacts on thermal stress in four climatically diverse European cities, *Int J Biometeorol.*, vol. 66, pp. 2339-2355, <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02361-8>.

Mauritsen, T., Roeckner, E. (2020) Tuning the MPI-ESM1.2 Global Climate Model to Improve the Match With Instrumental Record Warming by Lowering Its Climate Sensitivity, *JAMES*, vol. 12, is. 5, <https://doi.org/10.1029/2019MS002037>.

NASEM (2016) National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2016) *Attribution of Extreme Weather Events in the Context of Climate Change*, Washington, DC: The National Academies Press, 144 p., doi: 10.17226/21852.

Pappenberger, F., Jendritzky, G., Staiger, H., Dutra, E., Di Giuseppe, F., Richardson, D.S. (2015) Global forecasting of thermal health hazards: The skill of probabilistic predictions of the Universal Thermal Climate Index (UTCI), *Int. J. Biometeorol.*, vol. 59, no. 3, pp. 311-323, <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-014-0843-3>.

Pappenberger, F., Hannah, L.C. (2018) Assessing heat-related health risk in Europe via the Universal Thermal Climate Index (UTCI), *Int. J. Biometeorol.*, <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1518-2>.

Vinogradova, V.V. (2021) Using the Universal Thermal Climate Index UTCI for the assessment of bioclimatic conditions in Russia, *Int. J. Biometeorol.*, vol. 65, pp. 1473-1483, <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01901-4>.

Staiger, H., Laschewski, G., Matzarakis, A. (2019) Selection of Appropriate Thermal Indices for Applications in Human Biometeorological Studies, *Atmosphere*, no.10, pp. 18, doi:10.3390/atmos10010018.

Williams, K.D., Copsey, D., Blockley, E.W., Bodas-Salcedo, A., Calvert, D., Comer, R., Davis, P., Graham, T., Hewitt, H.T., Hill, R., Hyder, P., Ineson, S. et al. (2017) *The Met Office Global Coupled Model 3.0 and 3.1 (GC3.0 and GC3.1) Configurations JAMES*, <https://doi.org/10.1002/2017MS001115>.

WMO (2019) *The Global Climate in 2015-2019*, 24 p., https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9936.

WMO (2021) *State of the Global Climate 2020*, WMO, no. 1264, 56 p., https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10618.

References

Vinogradova, V.V. (2019) Universal'nyj indeks teplovogo komforta na territorii Rossii. [Universal Thermal Comfort Index in Russia], *Izvestiya RAN seriya geogr.*, no. 2, pp. 3-19.

Vinogradova, V.V., Glezer, O.B., Gracheva, R.G., Dorina, A.L., Zolotokrylin, A.N., Kotov, A.V., Kurichev, N.K., Morgunov, B.A., Potashnikov, V.Yu., Ptichnikov, A.V., Proskuryakova, L.N., Safonov, G.V., Safonova, Yu.A., Semakina, A.A., Semiletov, I.P., Sizonov, A.G., Stecenko, A.V., Titkova, T.B., Shahova, N.E., Sheludkov, A.V. (2022) *Vozdejstvie izmeneniya klimata na chelovecheskij potencial, ekonomiku i ekosistemy*. [The impact of climate change on human potential, economies and ecosystems], Moscow, Russia, 76 p.

Volodin, E.M., Mortikov, E.V., Kostykin, S.V., Galin, B.Ya., Lykosov, V.N., Gricun, A.S., Dianskij, N.A., Gusev, A.V., Yakovlev, N.G. (2017) *Vosproizvedenie sovremennogo klimata v novej versii modeli klimaticheskoy sistemy IVM RAN*. [Reproduction of the Modern Climate in the New Version of the Climate System Model of the Institute of Numerical Mathematics of the Russian Academy of Sciences], *Izvestiya RAN, Atmospheric and Oceanic Physics*, vol. 53, no. 2, pp. 164-178.

Gilyazov, A.F. (2015) *Klasternyj analiz kak instrument rajonirovaniya territorii po krupnosti rechnyh nanosov (na primere bassejna Volgi)* [Cluster Analysis as a Tool for Zoning Areas Based on River Sediment Size (Case Study of the Volga Basin)], *Vestnik Udmurtskogo universiteta*, vol. 25, is. 2, pp. 149-158.

Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2023 god. [Climate Report for the Russian Federation for 2023] (2024), Rosgidromet, Moscow, Russia, 104 p.

Zolotokrylin, A.N., Konyaev, K.V., Ezau, I.N. (1998) *Sravnenie sinopticheskoy i formal'noj klassifikacij krupnomasshtabnoj cirkulyacii atmosfery Severnogo polushariya*. [Comparison of Synoptic and Formal Classifications of Large-Scale Atmospheric Circulation in the Northern Hemisphere], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 12, pp. 34-44.

Zolotokrylin, A.N., Krenke, A.N., Vinogradova, V.V. (2012) *Rajonirovanie Rossii po prirodnym usloviyam zhizni naseleniya* [Zoning of Russia Based on Natural Living Conditions], GEOS, Moscow, Russia, 156 p.

Polyakova, D.V., Kuzhevskoj, I.V. (2012) *Primenenie klasternogo analiza dlya ocenki temperaturno-vlazhnostnyh uslovij v period aktivnoj vegetacii na territorii yuga Zapadnoj Sibiri i ego svyaz' s gidrotermicheskim koefitsientom T.G. Selyaninova*. [Application of Cluster Analysis for Assessing Temperature and Humidity Conditions during the Active Vegetation Period in Southern Western Siberia and Its Relation to Selianinov's Hydrothermal Coefficient], *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, pp. 188-192.

Tretij ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii [Third Assessment Report on Climate Change and Its Consequences in the Russian Federation] (2022) in V.M. Katcova (ed), Roshydromet, High-Tech Technologies, St. Petersburg, Russia, 676 p.

Ezau, I.N. (1995) *Klasternyj analiz dannyh nablyudenij i rezul'tatov chislennyh eksperimentov s model'yu OCA*. [Cluster Analysis of Observation Data

and Results of Numerical Experiments with a GCM Model], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 12, pp. 40-53.

Antonescu, B., Mărmureanu, L., Vasilescu, J., Marin, C., Andrei, S., Boldeanu, M., Ene, D., Țilea, A. (2021) A 41-year bioclimatology of thermalstress in Europe, *Int. J. Climatol.*, vol. 41, pp. 3934-3952, <https://doi.org/10.1002/joc.7051>.

Bilgin, B., Acar, S., Demiralay, Z. et al. (2024) A synthetic approach to the Holiday Climate Index for the Mediterranean Coast of Türkiye, *Int. J. Biometeorol.*, vol. 68, pp. 1773-1787, <https://doi.org/10.1007/s00484-024-02704-7>.

Błażejczyk, K., Błażejczyk, A. (2014) Assessment of bioclimatic variability on regional and local scales in central Europe using UTCI, *Scientific annals of "Alexandru Ioan Cuza" University of Iași*, Geography series, vol. 60, no. 1, pp. 67-82.

Błażejczyk, K., Kunert, A. (2011) *Bioclimatic principles of recreation and tourism in Poland*, 2nd edn, Monografie IGiPZ PAN, Warszawa, (In Polish).

Błażejczyk, K., Broede, P., Fiala, D., Havenith, G., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Kunert, A. (2010) Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European scale, *Miscelanea Geographica*, no. 14, pp. 91-102.

Błażejczyk, K., Jendritzky, G., Bröde, P., Fiala, D., Havenith, G., Epstein, Y., Psikuta, A., Kampmann, B. (2013) An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI), *Geographia Polonica*, vol. 86, no. 1, pp. 5-10.

Bröde, P., Jendritzky, G., Fiala, D., Havenith, G. (2010) *The universal thermal climate index UTCI in operational use. Proceedings of conference, adapting to change: new thinking on comfort Cumberland Lodge*, Windsor, UK, 9-11, April 2010.

Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B. et al. (2012) Deriving the operational procedure for the universal thermal climate index (UTCI) *Int. J. Biometeorol.*, vol. 56, no. 3, pp. 481-494, <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1>.

Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store (2021) CMIP6 climate projections. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), doi: 10.24381/cds.c866074c (Accessed on February-2023).

De Freitas. C.R., Grigorieva. E.A. (2017) A comparison and appraisal of a comprehensive range of human thermal climate indices, *Int. J. Biometeorol.*, vol. 61, pp. 487-512, <http://doi.org/10.1007/s00484-016-1228-6>.

Di Napoli C., Pappenberger F., Cloke H.L. (2018) Assessing heat related health risk in Europe via the Universal Thermal ClimateIndex (UTCI), *Int. J. Biometeorol.*, vol. 62, pp. 1155-1165, <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1518-2>.

Fiala, D., Havenith, G., Bröde, P., Kampmann, B., Jendritzky, G. (2012) UTCI Fiala multinode model human heat transfer and thermal comfort, *Int. J. Biometeorol.*, vol. 56, pp. 429-441.

Founda, D., Pierros, F., Katavoutas, G., Keramitsoglou, I. (2019) Observed trends in thermal stress at European cities with different background climates, *Atmosphere*, no. 10, pp. 436, <https://doi.org/10.3390/atmos10080436>.

Fowler, H.J., Lenderink, G., Prein, A.F. Westra, S., Allan, R.P., Ban, N., Barbero, R., Berg, P., Blenkinsop, S., Do, H.X., Guerreiro, S., Haerter, J.O., Kendon, E.J., Lewis, E., Schaer, C., Sharma, A., Villarini, G., Wasko, C., Zhang, X. (2021) Anthropogenic intensification of short-duration rainfall extremes, *Nature Reviews Earth & Environment*, <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00128-6>.

Grigorieva, E.A., Alexeev, V.A., Walsh, J.E. (2023) Universal thermal climate index in the Arctic in an era of climate change, Alaska and Chukotka as a case study, *Int. J. Biometeorol*, vol. 67, pp. 1703-1721, <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02531-2>.

Guerreiro, S.B., Dawson, R.J., Kilsby, C., Lewis, E., Ford, A. (2018) Future heat-waves, droughts and floods in 571 European cities, *Environ Res Lett.*, no. 13, pp. 034009, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaaad3>.

IPCC (2021) Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021. *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, in V., P. Masson-Delmotte, A. Zhai, S.L. Pirani, C. Connors, S. Péan, N. Berger, Y. Caud, L. Chen, M. I. Goldfarb, M. Gomis, K. Huang, E. Leitzell, J.B.R. Lonnoy, T.K. Matthews, T. Maycock, O. Waterfield, R. Yu. Yelekçi, and B. Zhou (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3-32.

Jendritzky, G., Havenith, G., Weihs, P., Batchvarova, E. (eds.) (2009) Towards a *Universal Thermal Climate Index UTCI for assessing the thermal environment of the human being*, Final Report COST Action 730.

Jendritzky, G., De Dear, R., Havenith, G. (2012) UTCI – why another thermal index, *Int. J. Biometeorol*, vol. 56, no.3, pp. 421-428.

Katavoutas, G., Founda, D., Varotsos, K.V., Giannakopoulos, Ch. (2022) Climate change impacts on thermal stress in four climatically diverse European cities, *Int. J. Biometeorol.*, vol. 66, pp. 2339-2355, <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02361-8>.

Mauritsen, T., Roeckner, E. (2020) Tuning the MPI-ESM1.2 Global Climate Model to Improve the Match With Instrumental Record Warming by Lowering Its Climate Sensitivity, *JAMES*, vol. 12, is. 5, <https://doi.org/10.1029/2019MS002037>.

NASEM (2016) National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2016) *Attribution of Extreme Weather Events in the Context of Climate Change*, Washington, DC: The National Academies Press, 144 p., doi: 10.17226/21852.

Pappenberger, F., Jendritzky, G., Staiger, H., Dutra, E., Di Giuseppe, F., Richardson, D.S. (2015) Global forecasting of thermal health hazards: The skill of probabilistic predictions of the Universal Thermal Climate Index (UTCI), *Int. J.*

Biometeorol., vol. 59, no. 3, pp. 311-323, <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-014-0843-3>.

Pappenberger, F., Hannah, L.C. (2018) Assessing heat-related health risk in Europe via the Universal Thermal Climate Index (UTCI), *Int. J. Biometeorol.*, <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1518-2>.

Vinogradova, V.V. (2021) Using the Universal Thermal Climate Index UTCI for the assessment of bioclimatic conditions in Russia, *Int. J. Biometeorol.*, vol. 65, pp. 1473-1483, <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01901-4>.

Staiger, H., Laschewski, G., Matzarakis, A. (2019) Selection of Appropriate Thermal Indices for Applications in Human Biometeorological Studies, *Atmosphere*, no. 10, pp. 18, doi:10.3390/atmos10010018.

Williams, K.D., Copsey, D., Blockley, E.W., Bodas-Salcedo, A., Calvert, D., Comer, R., Davis, P., Graham, T., Hewitt, H.T., Hill, R., Hyder, P., Ineson, S. et al. (2017) *The Met Office Global Coupled Model 3.0 and 3.1 (GC3.0 and GC3.1) Configurations JAMES*, <https://doi.org/10.1002/2017MS001115>.

WMO (2019) *The Global Climate in 2015-2019*, 24 p., https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9936.

WMO (2021) *State of the Global Climate 2020*, WMO, no. 1264, 56 p., https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10618.

Статья поступила в редакцию (Received): 22.10.2024.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 31.10.2024.

Принята к публикации (Accepted): 13.12.2024.

Для цитирования / For citation:

Виноградова, В.В., Титкова, Т.Б. (2025) Биоклиматическое районирование России с использованием Универсального термического климатического индекса (UTCI) в условиях современного и будущего климатов, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 11, № 1, с. 55-74, doi:10.21513/2410-8758-2025-1-55-74.

Vinogradova, V.V., Titkova, T.B. (2025) Bioclimatic zoning of Russia using the universal thermal index (UTCI) in current and future climates, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 11, no. 1, pp. 55-74, doi:10.21513/2410-8758-2025-1-55-74.

Детерминированность временной изменчивости повторяемости циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе

В.Н. Маслова, Е.Н. Воскресенская*

ФГБНУ «Институт природно-технических систем»,
Россия, 299011, Севастополь, ул. Ленина, 28

* Адрес для переписки: veronika_maslova@mail.ru

Реферат. В работе исследованы особенности сезонной изменчивости циклонической активности и оценен раздельный и совместный вклад квазипериодических климатических процессов межгодового-междесятилетнего масштаба в изменчивость частоты циклонов. Такие знания важны для диагноза и прогноза погодно-климатических аномалий. Параметры циклонов получены для Черноморского региона, Западного и Восточного Средиземноморья с использованием четырехсрочных данных высоты геопотенциала 1000 гПа из реанализа NCEP/NCAR за 1951-2017 гг. и методики М.Ю. Бардина.

Анализ пространственно-временного распределения климатических величин показал, что циклоническая активность повышается зимой, понижается летом, а в Черноморском регионе максимум повторяемости циклонов сдвинут на весну (апрель). Высокая циклоническая активность в течение всего года с наименьшей величиной дисперсии наблюдается в Западном Средиземноморье, а наибольший разброс параметров циклонов – в основном в Черноморском регионе. В Восточном Средиземноморье повторяемость циклонов зимой выше, а летом – ниже, чем в двух других рассматриваемых регионах, что обуславливает максимальную амплитуду годового хода.

С помощью коэффициентов детерминации показано, какая часть дисперсии частоты циклонов с запаздыванием 0-11 месяцев может быть объяснена изменчивостью известных квазипериодических климатических процессов межгодового-междесятилетнего масштаба.

Преобладающий вклад Североатлантического колебания, наряду с Арктическим и Восточноатлантическим колебаниями в отдельные месяцы, определен для частоты циклонов Черноморского региона (20-30% объясненной дисперсии частоты зимой). Около 10-15% дисперсии частоты объясняется вкладом Тихоокеанской десятилетней осцилляции, Скандинавского колебания, Средиземноморского колебания и колебания Тропики/Северное полушарие, а также Восточноатлантического-Западноросийского колебания весной и Полярно-Евразийского колебания в летне-осенний период.

В изменчивость частоты циклонов Западного Средиземноморья основной вклад вносят Скандинавское колебание (более 20% дисперсии весной), Восточноатлантическое-Западноросийское и Восточноатлантическое колебания (около 15% дисперсии), Средиземноморское и Западно-Средиземноморское колебания (10-15% дисперсии). Около 10% дисперсии среднегодовой

частоты вносят Тихоокеанско-Североамериканское и Западнотихоокеанское колебания; 5-10% дисперсии зимней частоты – Эль Ниньо – Южное колебание и колебание Тропики/Северное полушарие.

Изменчивость частоты циклонов Восточного Средиземноморья определяется в основном региональными средиземноморскими колебаниями, а весной – Полярно-Евразийским и Восточноатлантическим колебаниями. При этом 10-20% дисперсии годовой и зимней частоты циклонов обусловлено Тихоокеанско-Североамериканским, Восточно-Северотихоокеанским и Западнотихоокеанским колебаниями; 5-10% дисперсии весенней частоты – вклад Тихоокеанской десятилетней осцилляции и Атлантической междесятилетней осцилляции.

Анализ множественной линейной регрессии позволил оценить совместный вклад рассмотренных 15-ти климатических сигналов в изменчивость частоты циклонов, который даже с учетом только линейных синхронных проявлений составляет 60-70% объясненной дисперсии частоты в зимне-весенний период и для среднегодовых значений.

Ключевые слова. Климатология циклонов, сумма дней с циклонами, глубина циклонов, площадь циклонов, интенсивность циклонов, годовой ход, система океан – атмосфера, климатические моды, климатические сигналы.

Determinacy of temporal variability of cyclone frequency in the Black Sea-Mediterranean region

V.N. Maslova, E.N. Voskresenskaya*

Institute of Natural and Technical Systems,
28, Lenin str., 299011, Sevastopol, Russian Federation

*Correspondence address: *veronika_maslova@mail.ru*

Abstract. The paper investigates the features of seasonal variability of cyclonic activity and evaluates the separate and joint contribution of quasi-periodic climatic processes of interannual-multidecade scale to the variability of the frequency of cyclones. Such knowledge is important for the diagnosis and prediction of weather and climate anomalies. Cyclone parameters were obtained for the Black Sea region, the Western and Eastern Mediterranean using 6-hourly 1000 hPa geopotential height from the NCEP/NCAR reanalysis in 1951-2017 and the methodology of M.Y. Bardin.

The analysis of the spatiotemporal distribution of climatic values showed that cyclonic activity increases in winter, decreases in summer, and in the Black Sea region the maximum frequency of cyclones is shifted to spring (April). High cyclonic activity throughout the year with the lowest dispersion is observed in the Western Mediterranean, and the greatest variation in cyclone parameters is mainly in the Black Sea region. In the Eastern Mediterranean, the frequency of cyclones is higher in winter and lower in summer than in the other two regions, which determines the maximum amplitude of the annual course.

Using determination coefficients, it is shown how much of the variance of the frequency of cyclones can be explained by the variability of known quasi-periodic climatic processes of interannual-multidecade scale with a time lag of 0-11 months.

The predominant individual contribution of the North Atlantic Oscillation, along with the Arctic and East Atlantic oscillations in individual months, is determined for the frequency of cyclones in the Black Sea region (20-30% of the explained frequency variance in winter). About 10-15% of the frequency variance is explained by the separate contribution of the Pacific Decadal Oscillation, the Scandinavia pattern, the Mediterranean Oscillation and the Tropical/Northern Hemisphere pattern, as well as the East Atlantic/West Russia pattern in spring and the Polar/Eurasia pattern in summer and autumn.

The main contribution to the variability of the frequency of cyclones in the Western Mediterranean is made by the Scandinavia pattern (more than 20% of the variance in spring), East Atlantic/West Russia pattern and East Atlantic Oscillation (each about 15% of the variance), Mediterranean and Western Mediterranean oscillations (each 10-15% of the variance). About 10% of the variance of the average annual frequency is caused separately by the Pacific/North American and West Pacific patterns; 5-10% of the variance of the winter frequency is caused separately by the El Nino – Southern oscillation and Tropical/Northern Hemisphere pattern.

The variability of the frequency of cyclones in the Eastern Mediterranean is mainly determined by the regional Mediterranean patterns, and in spring by the Polar/Eurasia pattern and East Atlantic Oscillation. At the same time, 10-20% of the variance of the annual and winter frequency of cyclones is associated separately with the Pacific/North American, East Pacific-North Pacific and West Pacific patterns; 5-10% of the variance of the spring frequency is the individual contribution of the Pacific Decadal Oscillation and the Atlantic Multidecadal Oscillation.

The analysis of multiple linear regression allowed us to estimate the joint contribution of the considered 15 climatic patterns to the variability of the frequency of cyclones, which, even taking into account only linear synchronous manifestations, makes up 60-70% of the explained frequency variance in the winter-spring period and for annual averages.

Keywords. Climatology of cyclones, number of days with cyclones, depth of cyclones, area of cyclones, intensity of cyclones, annual course, ocean – atmosphere system, climatic modes, climatic signals.

Введение

Диагноз и прогноз погодно-климатических аномалий в условиях наблюдаемых климатических изменений представляют чрезвычайную важность и требуют изучения квазипериодической изменчивости параметров циклонической активности (Eichler et al., 2013; Harvey et al., 2020; Бардин и др., 2021; Бардин, Платова, 2022). В этой связи временную изменчивость циклонической активности важно изучать для диагноза, а затем и прогноза

погодно-климатических аномалий, в том числе с сезонной заблаговременностью (Лубков, Воскресенская, 2021; Лубков и др., 2022; Voskresenskaya et al., 2022).

Во временной изменчивости циклонической активности выделяются однонаправленные изменения (Alexandersson et al., 2000; McCabe et al., 2001; Eichler et al., 2013), которые связывают в основном с антропогенной деятельностью, и квазипериодическая изменчивость (Alpert et al., 2006; Nissen et al., 2010; Бардин и др., 2019; Бардин и др., 2021), обусловленная природными процессами в системе океан – атмосфера, индикаторами которых служат соответствующие индексы. Эти индексы определяют по чередующимся аномалиям барического поля в тропосфере (Barnston, Livezey, 1987; Hurrell, Deser, 2010) или поля аномалий температуры поверхности океана (Enfield, Mestas-Nuñez, 1999; Kerr, 2000; Mantua, Hare, 2002; Kerr, 2005). Основной механизм региональных проявлений таких глобальных процессов заключается в изменении направления траекторий основных циклонов (Voskresenskaya, Polonskii, 1995). Преобладающим квазипериодическим процессом, определяющим климатические аномалии в Атлантико-Европейском регионе на межгодовом масштабе, считается Североатлантическое колебание (Rogers, 1990; Hurrell, Deser, 2010). При этом выделяется еще не менее десятка различных климатических сигналов, значимо проявляющихся в климатических аномалиях в разных частях этого региона (Barnston, Livezey, 1987).

Ранее в (Maslova et al., 2020; Maslova et al., 2021) было показано, что линейные тренды среднегодовой частоты циклонов Черноморско-Средиземноморского региона невелики и объясняют не более 10% изменчивости рядов, а именно в Черноморском регионе. В Западном Средиземноморье этот вклад составляет немногим более 5%, а в Восточном Средиземноморье – менее процента (Maslova et al., 2021). Оставшаяся преобладающая часть изменчивости характеризуется межгодовыми-междесятилетними квазипериодическими колебаниями (Maslova et al., 2020; Maslova et al., 2021).

Возникает вопрос: какая часть объясненной дисперсии частоты циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе обусловлена упомянутыми квазипериодическими климатическими процессами. Это позволит определить вклад разных индикаторов и выделить предикторы этой изменчивости. Оценка вклада предшествующих климатических сигналов важна для прогнозирования изменчивости статистических характеристик циклонов от нескольких месяцев до нескольких лет.

Цель настоящей работы – исследовать особенности временной квазипериодической изменчивости повторяемости циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе и оценить вклад в эту изменчивость глобальных процессов в системе океан-атмосфера.

Данные и методы

Временные ряды параметров циклонов (повторяемость, глубина, площадь) в Черноморско-Средиземноморском регионе были получены по четы-

рехсрочным данным реанализа NCEP/NCAR (Kalnay et al., 2018) за период 1951-2017 гг. с помощью методики объективной идентификации и трекинга М.Ю. Бардина (Бардин, 1995). Алгоритм методики определяет все локальные минимумы поля высоты геопотенциальной поверхности 1000 гПа, ограниченные замкнутыми изогипсами с шагом 10 гПм. Порог времени жизни циклона принимался равным 48 ч. Методика была выбрана для международного проекта IMILAST (Intercomparison of Mid Latitude Storm Diagnostic) (Neu et al., 2013), результаты которого доказывают её качество в сопоставлении с другими методами определения среднеширотной циклонической активности.

Массивы и временные ряды (месячные, сезонные и годовые) параметров циклонов анализировались отдельно для Черноморского региона (37°-50° с.ш., 27°-45° в.д.), Западного Средиземноморья (35°-47° с.ш., 6° з.д.-16° в.д.) и Восточного Средиземноморья (29°-41° с.ш., 16°-38° в.д.).

Повторяемость (частота) циклонов рассчитывалась как количество центров циклонических образований, обнаруженное в заданном регионе за определенный период, к общему числу проанализированных случаев (количеству дней в периоде, умноженному на 4 срока). Для более наглядной характеристики повторяемости циклонов были посчитаны суммы дней с циклонами (циклонодни) за определенный интервал времени. Площадь циклона определялась в пределах фигуры, ограниченной последней замкнутой изогипсой. Под глубиной циклона понимается разность геопотенциальных высот между найденным минимумом в узле сетки внутри первой замкнутой изогипсы и значением на внешней ограничивающей изогипсе. Для учета вклада площади циклона была получена интенсивность (или средняя глубина) циклона, представляющая собой отношение объема циклона (интеграла глубины) к его площади.

Корреляционный анализ связи параметров циклонов с индексами климатических сигналов проводился на основе временных рядов средних величин по месяцам, сезонам и для среднегодовых величин с помощью коэффициента корреляции Пирсона по формуле (1):

$$r = \frac{cov(x, y)}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (1)$$

где r – коэффициент корреляции, а σ_x и σ_y – стандартные отклонения коррелированных рядов x и y .

Значимость коэффициентов корреляции определялась с использованием t – критерия Стьюдента по формуле (2):

$$t = \sqrt{\frac{r^2(n-2)}{1-r^2}}, \quad -1 < r < 1, \quad (2)$$

где t – критерий Стьюдента, r – коэффициент корреляции, а n – число значений ряда.

Коэффициент детерминации (r^2), определяемый по коэффициенту корреляции (r), использовался для оценки доли дисперсии параметров циклонов, объясняемой корреляционной связью с индексами климатических сигналов. Регрессионный анализ использовался для оценки совместного вклада далекодействующих индексов в изменчивость параметров циклонов.

Для анализа проявлений в циклонической активности привлекались среднетропосферные барические индексы внетропической зоны Северного полушария с веб-сайта <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml> (дата обращения 16 сентября 2024 года) следующих климатических колебаний:

- Североатлантическое колебание (САК). Индекс САК обозначен как NAO;
- Восточно-Атлантическое колебание (ВАК). Индекс ВАК – EA;
- колебание Восточная Атлантика/Западная Россия (ВА/ЗР). Индекс ВА/ЗР – EAWR;
- Скандинавское колебание (СКАНД). Индекс СКАНД – Scand;
- Полярное/Евразийское колебание (Пол/Евр). Индекс Пол/Евр – PolEur;
- Западно-Тихоокеанское колебание (ЗТК). Индекс ЗТК – WP;
- колебание Восток Тихого океана/Север Тихого океана (ВТ/СТ). Индекс ВТ/СТ – EPNP;
- Тихоокеанское/Североамериканское колебание (ТСА). Индекс ТСА – PNA;
- колебание Тропики/Северное полушарие (ТСП). Индекс ТСП – TNH.

Дополнительно был использован индекс Арктического колебания (АК). Индекс АК – АО характеризует барическое поле приземной тропосферы (с сайта https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao_index.html, дата обращения 16 сентября 2024 года). АК иначе называют кольцевой модой Северного полушария в работе (Thompson, Wallace, 2000). АК и САК характеризуются сильной корреляцией и общими центрами действия атмосферы в Северной Атлантике (Wallace, 2000). Влияние АК на региональный климат в Атлантико-Европейском регионе аналогично САК.

Кроме того, были использованы индексы, выделяемые по глобальной температуре поверхности океана (и приземному давлению), следующих климатических колебаний:

- Эль-Ниньо-Южное колебание (ЭНЮК). Индекс Южного колебания (ЮК, SOI) (с сайта <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/soi>, дата обращения 16 сентября 2024 года);
- Тихоокеанская десятилетняя осцилляция (ТДО). Индекс ТДО – PDO (с сайта <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo/>, дата обращения 16 сентября 2024 года) (Mantua, Hare, 2002);
- Атлантическая междесятилетняя осцилляция (АМО). Индекс АМО (с сайта <https://psl.noaa.gov/data/timeseries/AMO/>, дата обращения 16 сентября 2024 года).

Также были использованы региональные индексы Средиземноморского колебания (СК, индекс МО) в соответствии с работой (Conte et al., 1989;

Dünkeloh, Jacobeit, 2003; Maheras et al., 1999) и Западно-Средиземноморского колебания (ЗСК, индекс WeMO) в соответствии с работой (Martin-Vide, Lopez-Bustins, 2006). Эти индексы представляют собой барические колебания между Алжиром и Каиром или Гибралтаром и Израилем для МО и между Лигурийским морем и заливом Кадис для WeMO.

Часть этих климатических индексов ортогональны, т.е. они не коррелируют между собой, а другая часть сигналов связаны. Для ортогональных индексов можно показать суммарный вклад климатических сигналов в изменчивость активности циклонов с помощью суммирования коэффициентов детерминации, рассчитанных как квадрат коэффициентов корреляции. Группы ортогональных индексов:

- NAO, EA, EA/WR, SCAND, POL/EUR, WP, EP-NP, PNA, TNH;
- ENSO, AMO, PDO.

Линейная и синхронная связь индексов между этими группами невысока. В отдельные месяцы/сезоны она может достигать умеренного уровня ($r \sim 0.4$). Индексы МО, WMO умеренно связаны в декабре и январе ($r = 0.42-0.45$). Индексы NAO и АО характеризуются сильной корреляционной связью с декабря по март ($r > 0.7$). В любом случае можно оценить суммарный вклад разных климатических сигналов (также связанных) в изменчивость активности циклонов с помощью анализа множественной линейной регрессии.

Результаты и обсуждение

Средняя многолетняя циклоническая активность и сезонная изменчивость

Для характеристики средней циклонической активности получены многолетние (за 1951-2017 гг.) годовые величины параметров циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе и их среднеквадратические отклонения (СКО). Результаты расчетов приведены в табл. 1. Можно сравнить регионы по циклонической активности, хотя следует сделать оговорку, что площади регионов немного отличаются.

Параметры, характеризующие повторяемость циклонов (частота и сумма дней с циклонами), примерно одинаковы в Черноморском регионе и восточной части Средиземного моря (СМ), а в западной части СМ немного выше (на ~ 20 дней за год). При этом наибольший разброс (СКО) величин относительно среднего значения отмечается в Черноморском регионе (34 дня с циклонами) и превышает примерно в 2 раза разброс в обеих частях Средиземного моря.

Параметры, отражающие «силу» циклона (глубина, интенсивность и площадь), в среднем за год максимальны в западной части СМ (к примеру, глубина более 30 гпм, площадь 0.97 млн км²) и минимальны в восточной части (площадь 0.78 млн км², глубина около 26 гпм). Таким же образом распределены между регионами и СКО площади циклонов (0.16 млн км² на западе СМ и 0.1 млн км² на востоке СМ). Однако, максимальные величины

СКО глубины и интенсивности циклонов наблюдаются в Черноморском регионе (4.41 гпм и 1.6 гпм).

Таблица 1. Многолетние годовые величины параметров циклонов (Ср.) и их стандартные отклонения (СКО) в Черноморском регионе (ЧР), западной (ЗСМ) и восточной (ВСМ) частях Средиземного моря за период 1951-2017 гг.

Table 1. Long-term annual values of cyclone parameters (Ср.) and their standard deviations (СКО) in the Black Sea region (ЧР), Western Mediterranean (ЗСМ) and Eastern Mediterranean (ВСМ) in 1951-2017

Параметр	ЧР		ЗСМ		ВСМ	
	Ср.	СКО	Ср.	СКО	Ср.	СКО
Частота	0.16	0.06	0.19	0.03	0.17	0.03
Сумма дней с циклонами	107	34	123	14	103	16
Площадь, млн км ²	0.81	0.13	0.97	0.16	0.78	0.1
Глубина, гпм	29.08	4.41	32.27	4.13	26.18	3
Интенсивность, гпм	11.1	1.6	12.3	1.5	10	1.1

Группы параметров циклонов, характеризующие повторяемость (частота и количество дней с циклонами) и «силу» циклонов (площадь, глубина и интенсивность), имеют схожий годовой ход в своих группах, поэтому для примера, в качестве представителей своих групп, на рис. 1 приведены графики количества дней с циклонами и площади циклонов.

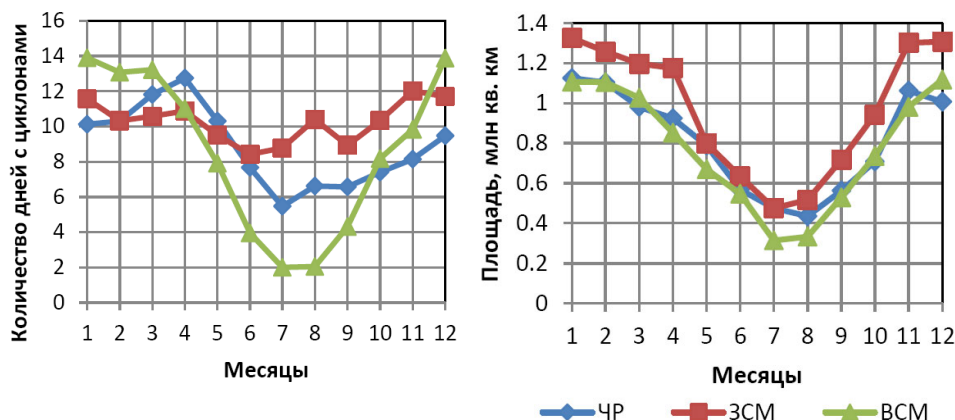


Рисунок 1. Внутригодовой ход количества дней с циклонами и площади циклонов в Черноморском регионе (ЧР), Западном Средиземноморье (ЗСМ) и Восточном Средиземноморье (ВСМ)

Figure 1. The annual course of the number of days with cyclones and the area of cyclones in the Black Sea region (ЧР), Western Mediterranean (ЗСМ) and Eastern Mediterranean (ВСМ)

Примечательно, что для рассмотренных регионов больше всего особенностей годового хода выделяется для повторяемости циклонов (частоты и количества дней с циклонами). Из общих особенностей можно выделить

лишь понижение величин в теплое полугодие и повышение в холодное. Различия, прежде всего, заметны в амплитуде годового хода, вычисляемой как разность наибольшей и наименьшей среднемесячной величины. Эта разница минимальна на западе СМ (3.6 дней с циклонами) и максимальна на востоке региона (почти 12 дней с циклонами), а в Черноморском регионе занимает промежуточное положение (немного более 7 дней с циклонами). Кроме того, месяцы наступления максимума и минимума величин тоже различны. В Черноморском регионе максимум повторяемости циклонов приходится на апрель, а минимум – на июль. На западе СМ максимум наступает в ноябре, минимум – в июне, при этом август характеризуется локальным максимумом. На востоке СМ максимум приходится на декабрь и январь, а минимум – на июль и август. Характер годового хода повторяемости циклонов в восточной части СМ похож на типичный годовой ход «силовых» параметров циклонов (площади, глубины и интенсивности).

Выделенные особенности сезонной изменчивости циклонической активности не противостоят работам (Trigo et al., 2002; Trigo et al., 1999). В одной части этих работ (Alpert et al., 1990; Campins et al., 2011; Flaounas et al., 2022; Lionello et al., 2016; Maheras et al., 2001) исследуется климатология циклонов Средиземного моря. Другая часть работ (Trigo et al., 2002; Trigo et al., 1999) посвящена исследованию областей образования и разрушения циклонов Средиземноморского бассейна и сезонности механизмов циклогенеза.

Например, в событиях циклогенеза в работе (Trigo et al., 2002), как и в повторяемости циклонов в настоящей работе, наблюдаются локальный максимум повторяемости циклонов на западе СМ в августе, летний минимум на востоке СМ, а также весенний максимум и летний минимум повторяемости циклонов в Черноморском регионе.

В годовом ходе площади, глубины и интенсивности циклонов во всех изучаемых регионах максимум приходится на зимние месяцы, а минимум – на летние с отклонением в 1-2 месяца. На западе СМ максимум всех «силовых» параметров наблюдается в декабре и январе. На востоке СМ месяцы максимумов – это декабрь и январь, а также февраль для площади циклонов. В Черноморском регионе максимум по «силовым» параметрам приходится на январь и февраль. Минимум этих параметров циклонов достигается в Средиземноморских регионах в июле, а в Черноморском регионе – в августе.

При этом амплитуда годового хода глубины, интенсивности и площади циклонов приблизительно одинакова в Средиземноморских регионах (немного более 30 гпм глубины, 12 гпм интенсивности и 800 тыс. км² площади) и немного ниже (на ~25% по глубине и интенсивности и 12% по площади циклонов) в Черноморском регионе.

Другие параметры циклонов (частота и интенсивность) показаны в сезонном и годовом осреднении на рис. 2.

Зимой значимых различий циклонической активности между регионами почти не наблюдается. Это можно объяснить обострением межширотных градиентов температуры в зимний сезон, активизацией общей циркуляции атмосферы и средиземноморского зимнего фронта, что сглаживает региональ-

ные контрасты. Исключением является повышенная частота зимних циклонов в Восточном Средиземноморье, глубина которых значимо не отличается. Это можно объяснить тем, что восток Средиземноморского бассейна является основной областью выхода и разрушения циклонов Западного Средиземноморья (Trigo et al., 1999). Кроме того, зимой здесь действует активный центр циклогенеза над Эгейским морем, а также над Кипром и Средним Востоком (Trigo et al., 2002; Trigo et al., 1999).

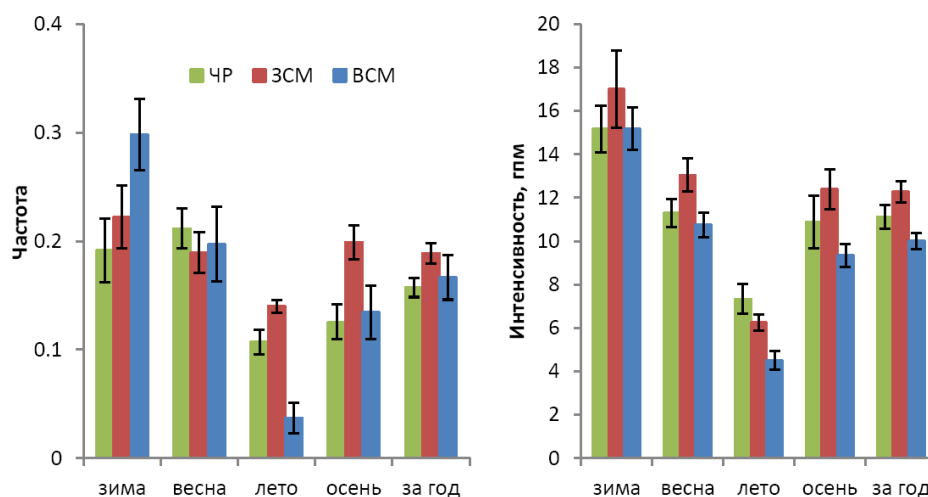


Рисунок 2. Сезонные и годовые средние многолетние (1951-2017 гг.) величины частоты и интенсивности циклонов в Черноморском регионе (ЧР), Западном Средиземноморье (ЗСМ) и Восточном Средиземноморье (ВСМ)

Планки погрешностей соответствуют доверительному уровню 99%

Figure 2. Seasonal and annual average long-term values (1951-2017) of the frequency and intensity of cyclones in the Black Sea region (ЧР), Western Mediterranean (ЗСМ) and Eastern Mediterranean (ВСМ)

The error bars correspond to a confidence level of 99%

Летом отмечаются наибольшие региональные контрасты. Наименьшая циклоническая активность (по всем параметрам циклонов) наблюдаются в Восточном Средиземноморье. Наибольшая повторяемость циклонов отмечается в Западном Средиземноморье. Черноморский регион выделяется наибольшей интенсивностью циклонов. Это может быть связано с активизацией летнего внутримассового циклогенеза на юго-востоке Черного моря, а также над Средним Востоком (Trigo et al., 1999). Местные циклоны характеризуются субсиноптическими размерами и малой продолжительностью существования. В связи с этим можно предположить, что их вклад не проявляется в средней площади и повторяемости, зато заметен в интенсивности/глубине.

В переходные сезоны, весной и осенью, по многим параметрам циклонов преобладает циклоническая активность Западного Средиземноморья. Весной – по глубине, интенсивности и площади циклонов по сравнению с Восточным Средиземноморьем и Черноморским регионом. Осенью – по всем параметрам циклонов по сравнению с Восточным Средиземноморьем, по

частоте и площади циклонов по сравнению с Черноморским регионом. Именно в Западном Средиземноморье расположены активные центры циклогенеза над Генуэзским заливом, Атласскими горами, Пиренейским полуостровом (Trigo et al., 2002). Первые два центра циклогенеза производят наиболее интенсивные / глубокие, большие и долгоживущие циклоны Средиземноморского бассейна (Trigo et al., 1999).

В среднем за год преобладает циклоническая активность в Западном Средиземноморье: в сравнении с Черноморским регионом по всем параметрам циклонов, а в сравнении с Восточным Средиземноморьем по интенсивности, глубине и площади циклонов.

Следует обратить внимание, что ранее не было проведено такого анализа и сравнения циклонической активности по общей частоте, глубине, интенсивности и площади циклонов над крупными частями Черноморско-Средиземноморского региона, как в настоящей работе.

Рейтинг климатических сигналов, определяющих изменчивость частоты циклонов

Для характеристики основных индикаторов и предикторов изменчивости частоты циклонов в каждом регионе было проведено ранжирование синхронных и асинхронных линейных корреляций с индексами климатических сигналов для среднегодовой и сезонной частоты циклонов (рис. 3-8) и частоты по месяцам (не показано). Коэффициенты корреляции (r) от 0.2/0.25 значимы на уровне 90-95% и объясняют (r^2) от 4-6.25% дисперсии частоты циклонов.

В частоте зимних циклонов по месяцам проявляются дополнительно следующие сигналы. В декабре основной вклад вносят синхронное ВА/ЗР с отрицательной корреляцией, синхронное Западное СК с положительной корреляцией и ВА/ЗР весенне-летнего периода с положительной корреляцией. В январе основной вклад вносит АК (с отрицательной корреляцией), а также значимо проявляются тихоокеанские и евразийские колебания декабря. В частоте циклонов в феврале меньше, чем зимой, проявляется влияние зимнего СКАНД колебания, при этом значимо проявляются колебания (САК, ВА/ЗР, ЗСК) теплых месяцев года.

Весенние месяцы характеризуются следующими особенностями. Частота циклонов в марте отличается положительной корреляцией с тихоокеанскими индексами: ЮК августа, ЗТК апреля, ТСА июля. В марте дополнительно проявляется индекс ВА/ЗР ноября с отрицательной корреляцией и летний ВА/ЗР с положительной корреляцией. Летний индекс ВА/ЗР также проявляется и в апреле. Апрель характеризуется дополнительно отрицательной корреляцией с индексами АМО летне-осеннего периода. В частоте циклонов в апреле и мае проявляется индекс ВТ/СТ июля. Частота циклонов в мае характеризуется положительной корреляцией в основном с региональными индексами СК и ЗСК весеннего периода и отрицательной корреляцией с индексами ВАК октября и декабря и САК января и августа, при этом с тихоокеанскими индексами ТДО и ТСА обнаружена синхронная корреляция.

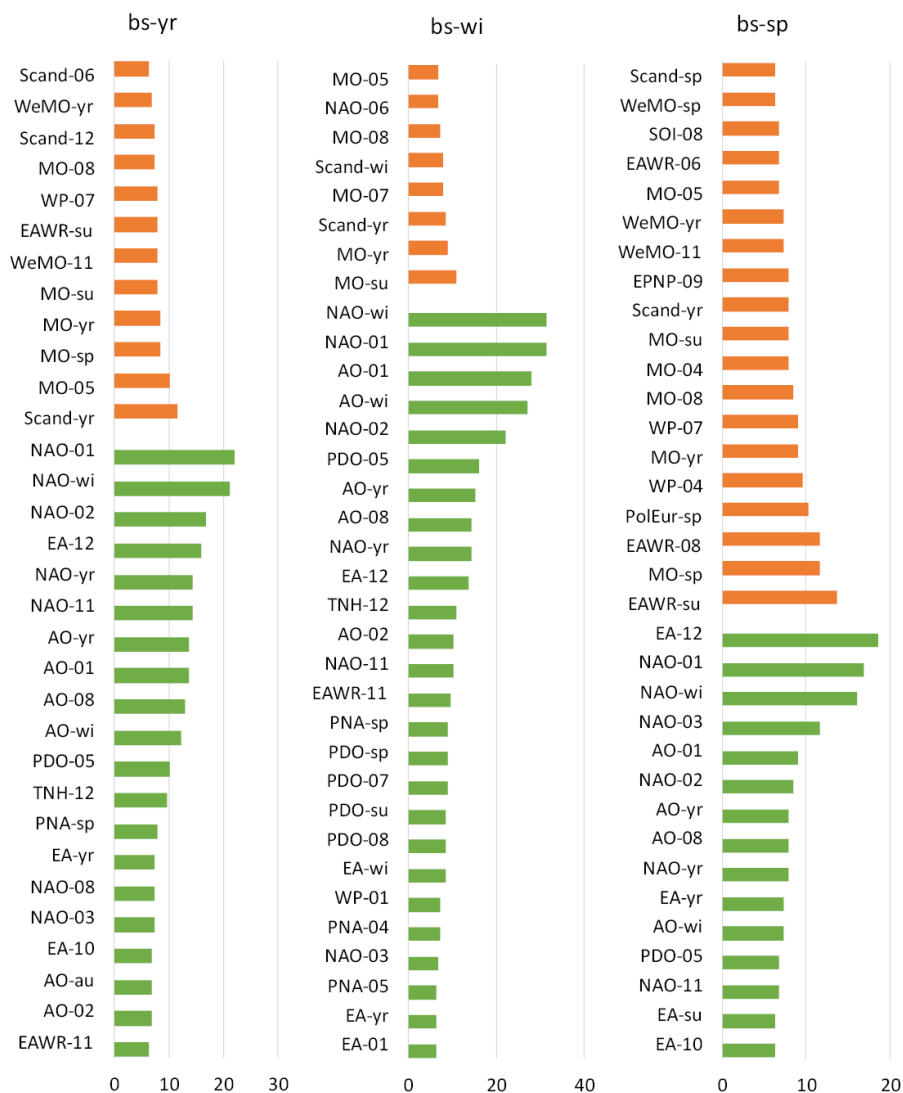


Рисунок 3. Ранжированные коэффициенты детерминации (r^2 , %) для среднегодовой (bs-yr), зимней (bs-wi) и весенней (bs-sp) частоты циклонов Черноморского региона с климатическими индексами (см. данные и методы) по месяцам (от 1 до 12), сезонам (зима – wi, весна – sp, лето – su, осень – au) и в среднем за год (yr)

Красным для коэффициентов корреляции $r > 0$, зеленым для $r < 0$

Figure 3. Ranked determination coefficients (r^2 , %) for the average annual (bs-yr), winter (bs-wi) and spring (bs-sp) frequency of cyclones in the Black Sea region with climatic indices (see data and methods) by month (from 1 to 12), seasons (winter – wi, spring – sp, summer – su, autumn – au) and annual averages (yr)

Red for correlation coefficients $r > 0$, green for $r < 0$

Основной вклад в повышение (понижение) среднегодовой и зимне-весенней частоты циклонов в Черноморском регионе (рис. 3) вносят ослабление (усиление) САК, АК и ВАК в основном в месяцы холодного полугодия, а также усиление (ослабление) среднегодового СКАНД колебания и регионального СК весенне-летнего периода. Кроме того, в частоте циклонов проявля-

ются индексы тихоокеанских сигналов: ТДО мая, ТСП за счет декабря, ТСА зимне-весеннего периода с отрицательной корреляцией и ЗТК апреля и июля с положительной корреляцией. При этом весной (к апрелю) уменьшается вклад годового индекса СКАНД, а проявляется основная связь (с положительной корреляцией) с другими евразийскими индексами: летним ВА/ЗР и весенним Пол/Евр.

Изменчивость частоты циклонов Черноморского региона в летне-осенний период (рис. 4) определяется в основном индексами САК и АО последнего месяца сезона (августа для лета и ноября для осени) с отрицательной корреляцией и индексом Пол/Евр с положительной корреляцией (индексом августа для лета; индексом мая для осени за счет сентября и ноября).

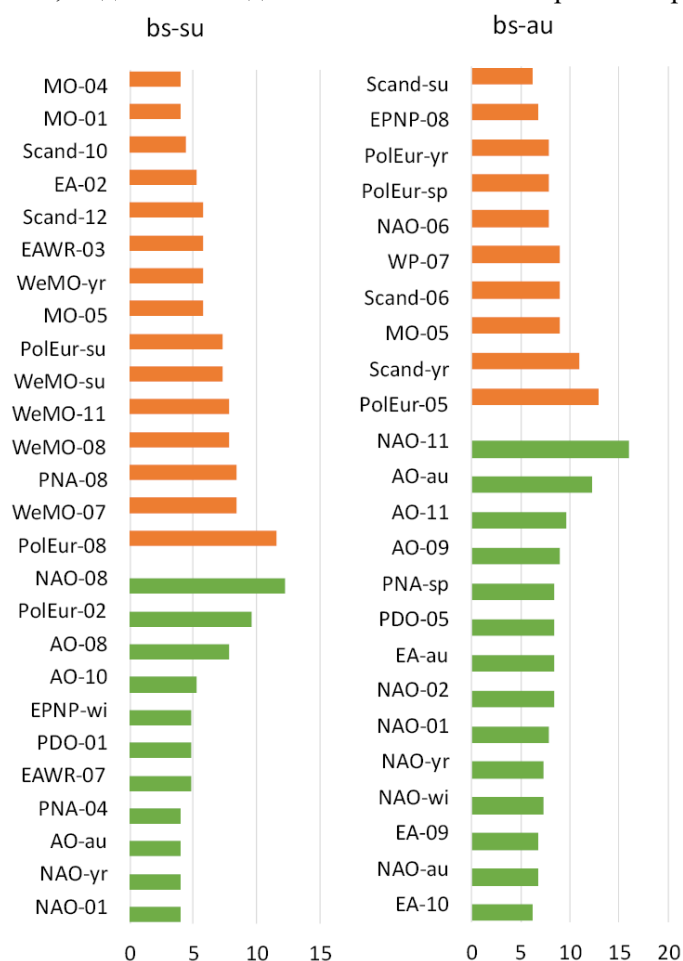


Рисунок 4. Ранжированные коэффициенты детерминации (r^2 , %) для частоты циклонов Черноморского региона летом (bs-su) и осенью (bs-au) с климатическими индексами (см. данные и методы) по месяцам (от 1 до 12), сезонам (зима – wi, весна – sp, лето – su, осень – au) и в среднем за год (yr)

Красным для коэффициентов корреляции $r > 0$, зеленым для $r < 0$

Figure 4. Ranked determination coefficients (r^2 , %) for the frequency of cyclones in the Black Sea region in summer (bs-su) and autumn (bs-au) with climatic indices (see data and methods) by month (from 1 to 12), seasons (winter – wi, spring – sp, summer – su, autumn – au) and annual averages (yr)
Red for correlation coefficients $r > 0$, green for $r < 0$

Определяющий перечень индексов для осенней частоты циклонов в Черноморском регионе (рис. 4) напоминает таковые для зимне-весеннего периода и среднегодовых величин (рис. 3), т.к. выделяются значимые отрицательные корреляции с синхронными осенними индексами САК, АО и ЕА, индексом ТДО мая и весеннего ТСА (в основном за счет октября) и положительные корреляции с годовым и летним индексом СКАНД, СК мая и ЗТК июля. Отличием осени от зимне-весеннего периода является повышение вклада весеннего и годового индекса Пол/Евр с положительной корреляцией (особенно в сентябре).

Летом (особенно в июле и августе) (рис. 4) также значительным является вклад индекса Пол/Евр (синхронного индекса с положительной корреляцией и индекса февраля с отрицательной корреляцией), а также с положительной корреляцией индекса ВА/ЗР марта (за счет июня) и синхронного индекса регионального ЗСК. Синхронная связь с ЗСК прослеживается с июля по октябрь. В июне частота циклонов определяется весенним ЗСК и СК с положительной корреляцией, а также весенним индексом ТСА с отрицательной корреляцией. Для летних месяцев также следует упомянуть положительную связь с индексом СКАНД, как синхронного, так и зимнего индекса.

В среднегодовой частоте циклонов Западного Средиземноморья (рис. 5) более всего проявляется с положительной корреляцией среднегодовой индекс СКАНД в основном за счет зимы, весны и сентября.

На одном уровне с положительной корреляцией проявляются ноябрьский индекс Пол/Евр (за счет летне-осеннего периода) и весенний и годовой индекс ЮК (за счет марта, апреля и ноября). С отрицательной корреляцией основной вклад вносят индексы ВА/ЗР (январский и зимний индекс за счет февраля и августа), ВАК (весенний и годовой индекс в основном за счет весны и с октября по декабрь), регионального СК (особенно для зимне-весеннего периода), зимние тихоокеанские индексы (ЗТ и ТСА) и годовой индекс АО (за счет периода с октября по май).

Общей чертой частоты циклонов Западного Средиземноморья по сезонам (рис. 5, 6) является отрицательная корреляция с синхронным индексом регионального СК (зимним, весенним индексами, индексом мая для весны, индексом ноября для осени) и положительная корреляция с индексом регионального ЗТК, как синхронного, так и с разными сдвигами.

Кроме региональных индексов, в сезонной частоте циклонов Западного Средиземноморья главным образом проявляются с положительной корреляцией индекс СКАНД зимой, весной и осенью и зимний индекс САК летом, а с отрицательной корреляцией индексы САК и АК зимой, ВАК и АК весной, летний САК осенью и апрельский ВА-ЗР летом.

В среднегодовой частоте циклонов Восточного Средиземноморья (рис. 7) с положительной корреляцией в большей мере проявляются среднегодовой индекс регионального СК (т.к. его синхронные отклики прослеживаются во все сезоны года и преобладают с ноября по январь), годовой и весенний индекс Пол/Евр (за счет переходных сезонов) и индекс СКАНД (за счет февраля), а также майские индексы региональных колебаний ЗКС и СК

(за счет асинхронных связей с частотой зимних и весенних циклонов). С отрицательной корреляцией в основном проявляются тихоокеанские индексы (весенний и майский индекс ТСА за счет весны, летний и июльский индекс ВТ-СТ за счет осени) и летне-осенний индекс АМО (за счет весны). Кроме того, меньший, примерно одинаковый вклад (с отрицательной корреляцией) вносят зимний индекс САК (за счет весны), январский индекс ЗТК (за счет осени) и февральский индекс регионального СК (за счет осени).

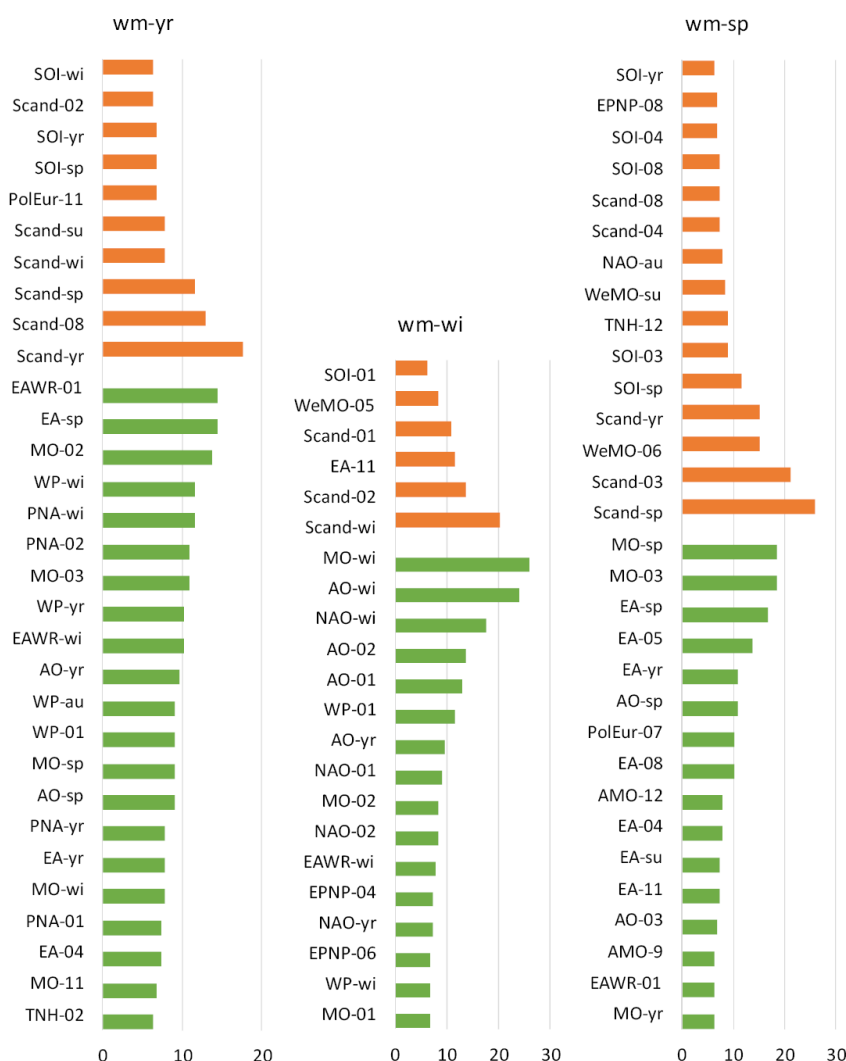


Рисунок 5. Ранжированные коэффициенты детерминации (r^2 , %) для среднегодовой (wm-yr), зимней (wm-wi) и весенней (wm-sp) частоты циклонов Западного Средиземноморья с климатическими индексами (см. данные и методы) по месяцам (от 1 до 12), сезонам (зима – wi, весна – sp, лето – su, осень – au) и в среднем за год (yr)
Красным для коэффициентов корреляции $r > 0$, зеленым для $r < 0$

Figure 5. Ranked determination coefficients (r^2 , %) for the average annual (wm-yr), winter (wm-wi) and spring (wm-sp) frequency of cyclones in the Western Mediterranean region with climatic indices (see data and methods) by month (from 1 to 12), seasons (winter – wi, spring – sp, summer – su, autumn – au) and annual averages (yr)
Red for correlation coefficients $r > 0$, green for $r < 0$

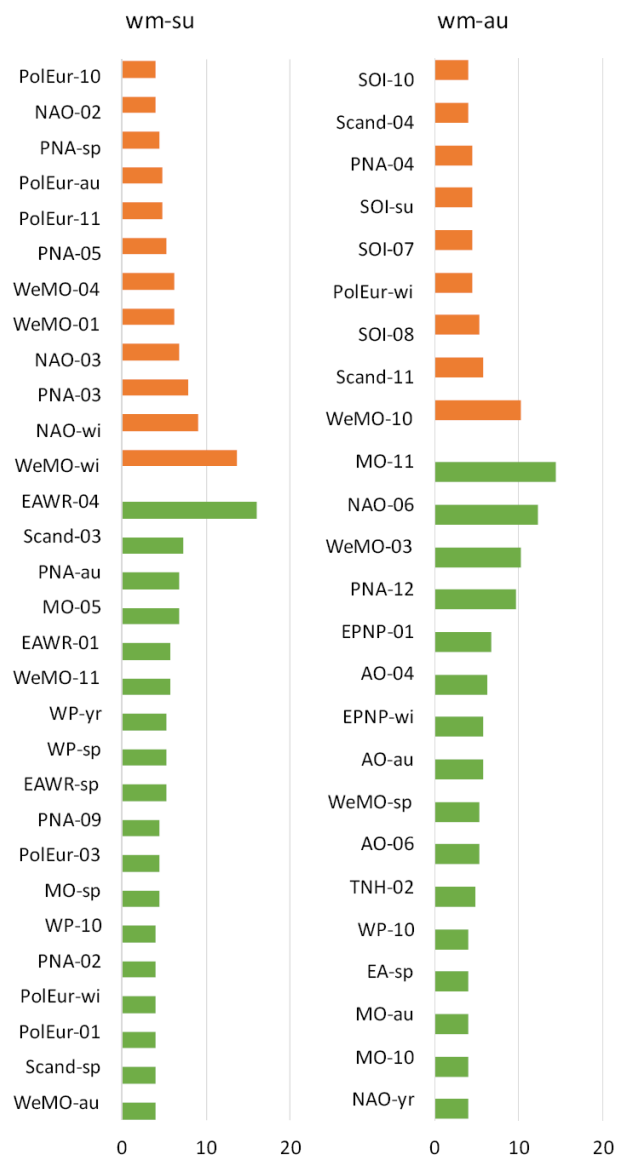


Рисунок 6. Ранжированные коэффициенты детерминации (r^2 , %) для частоты циклонов Западного Средиземноморья летом (wm-su) и осенью (wm-au) с климатическими индексами (см. данные и методы) по месяцам (от 1 до 12), сезонам (зима – wi, весна – sp, лето – su, осень – au) и в среднем за год (yr)
Красным для коэффициентов корреляции $r > 0$, зеленым для $r < 0$

Figure 6. Ranked determination coefficients (r^2 , %) for the frequency of cyclones in the Western Mediterranean region in summer (wm-su) and autumn (wm-au) with climatic indices (see data and methods) by month (from 1 to 12), seasons (winter – wi, spring – sp, summer – su, autumn – au) and annual averages (yr)
Red for correlation coefficients $r > 0$, green for $r < 0$

Особенностью сезонной частоты циклонов Восточного Средиземноморья (рис. 7, 8) является отсутствие преобладающих проявлений синхронных

индексов, за исключением положительной корреляции с региональными индексами весной и осенью и отрицательной корреляции с тихоокеанским индексом ЗТК зимой. При этом значительными являются проявления тихоокеанских индексов с разными сдвигами и разным знаком корреляции.

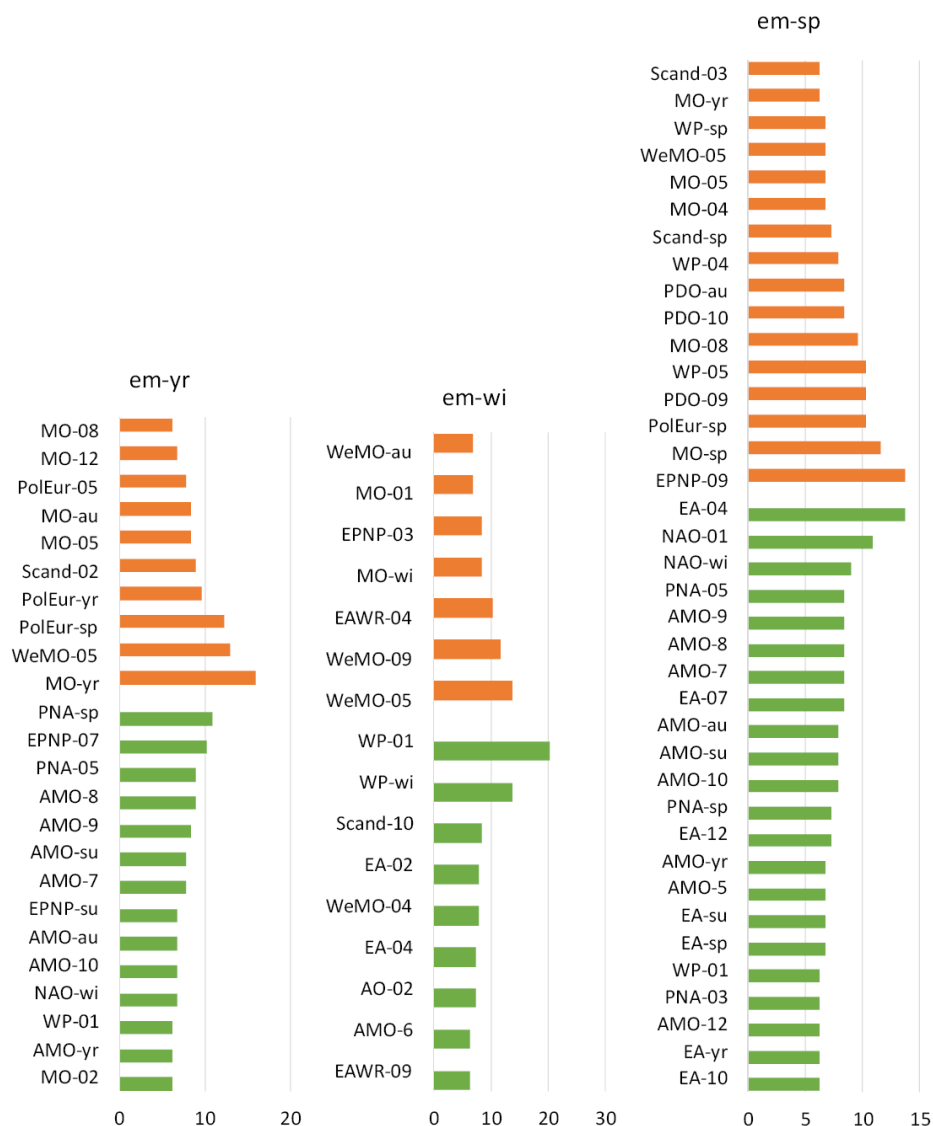


Рисунок 7. Ранжированные коэффициенты детерминации (r^2 , %) для среднегодовой (em-yr), зимней (em-wi) и весенней (em-sp) частоты циклонов Восточного Средиземноморья с климатическими индексами (см. данные и методы) по месяцам (от 1 до 12), сезонам (зима – wi, весна – sp, лето – su, осень – au) и в среднем за год (yr)
Красным для коэффициентов корреляции $r > 0$, зеленым для $r < 0$

Figure 7. Ranked determination coefficients (r^2 , %) for the average annual (em-yr), winter (em-wi) and spring (em-sp) frequency of cyclones in the Eastern Mediterranean region with climatic indices (see data and methods) by month (from 1 to 12), seasons (winter – wi, spring – sp, summer – su, autumn – au) and annual averages (yr)
Red for correlation coefficients $r > 0$, green for $r < 0$

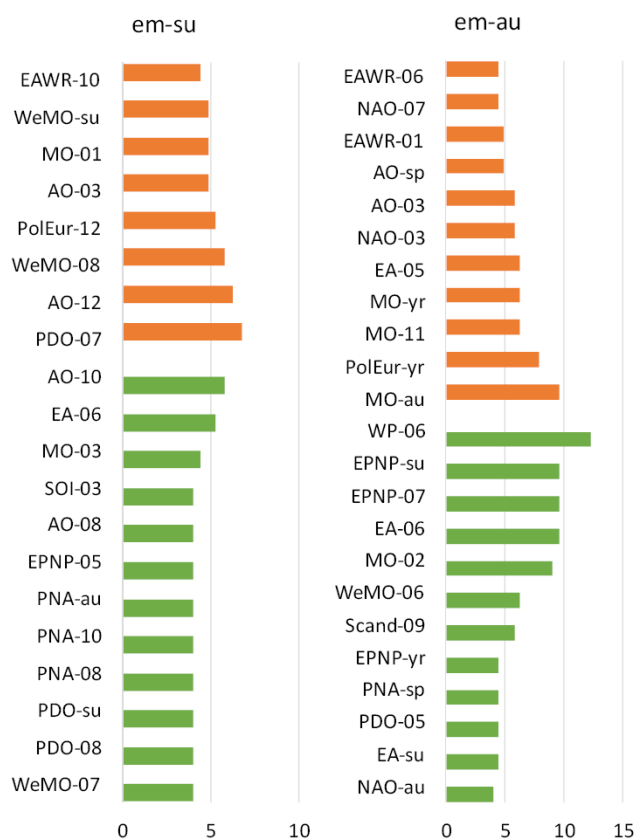


Рисунок 8. Ранжированные коэффициенты детерминации (r^2 , %) для частоты циклонов Восточного Средиземноморья летом (em-su) и осенью (em-au) с климатическими индексами (см. данные и методы) по месяцам (от 1 до 12), сезонам (зима – wi, весна – sp, лето – su, осень – au) и в среднем за год (yr)
Красным для коэффициентов корреляции $r > 0$, зеленым для $r < 0$

Figure 8. Ranked determination coefficients (r^2 , %) for the frequency of cyclones in the Eastern Mediterranean region in summer (em-su) and autumn (em-au) with climatic indices (see data and methods) by month (from 1 to 12), seasons (winter – wi, spring – sp, summer – su, autumn – au) and annual averages (yr)
Red for correlation coefficients $r > 0$, green for $r < 0$

Таким образом, временная изменчивость частоты циклонов определяется разным набором синхронных и асинхронных (предшествующих) климатических сигналов от месяца к месяцу. Кроме того, она является результатом их взаимодействия.

Обсуждение детерминированности межгодовой изменчивости

Основным межгодовым климатическим сигналом и главной модой изменчивости давления в Атлантико-Европейском регионе, как известно, считается Североатлантическое колебание (САК) (Hurrell, Deser, 2010). Полученные результаты в целом соответствуют известной схеме САК. В отрицательную фазу этого колебания циклоническая активность в южной части

Европы, включая исследуемый регион, усиливается, а в положительную фазу ослабевает в связи с чередованием барических аномалий в районе Исландского минимума и Азорского максимума. Однако преобладающий вклад САК в изменчивость частоты циклонов выделяется только для Черноморского региона, особенно в зимне-весенний период. В летне-осенний период преобладающие синхронные проявления САК в частоте циклонов выделяются в августе и ноябре. В то же время обнаружено, что вклад САК сравним с вкладом Арктического колебания (АК) и Восточноатлантического колебания (ВАК), которые также действуют в противофазе с частотой циклонов в изучаемом регионе. При этом с января по март вклад АК превышает вклад САК. А в декабре, октябре и апреле в частоте циклонов Черноморского региона синхронный вклад ВАК преобладает по сравнению с САК и АО.

Центры действия Арктического колебания, Североатлантического колебания и Восточноатлантического колебания расположены в основном над океаном и могут рассматриваться как “меридиональные структуры”, при которых аномалии атмосферного давления между центрами действия чередуются с севера на юг (Бардин и др., 2015). При этом происходит смещение широты западного переноса.

Арктическое колебание является ведущей модой давления в Северном полушарии, которая включает в себя как центры действия Североатлантического колебания, так и северной части Тихого океана (Thompson, Wallace, 2000; Wallace, 2000; Wallace, Gutzler, 1981). Характер его проявлений в циклонической активности аналогичен САК и даже сильнее его по корреляционным связям с частотой циклонов в Черноморском регионе в зимние месяцы.

Восточноатлантическое колебание является второй основной модой давления после САК над Североатлантическим регионом (Barnston, Livezey, 1987). Это колебание часто интерпретируется как смещенная на юго-восток мода САК, но с более сильными субтропическими связями через Азорский максимум. Полученные в настоящем исследовании результаты свидетельствуют о том, что ВАК проявляется в увеличении частоты циклонов в отрицательную фазу зимой и весной, особенно весной (апрель) в Черноморском регионе и над Западным Средиземноморьем.

Получается, что более масштабное Арктическое колебание в случае Черноморского региона приводит к большим откликам в частоте циклонов в зимние месяцы, чем Североатлантическое и Восточноатлантическое колебания, которые находятся ближе к региону. Причина этого требует более детального исследования и может быть связана с тем, что АК лучше проявляется в зонально усредненных характеристиках (Wallace, 2000). С другой стороны, полученные в настоящей работе отклики на САК и АК в циклонической активности значительной мере совпадают, подтверждая связь между этими двумя колебаниями (Thompson, Wallace, 2000; Wallace, 2000; Wallace, Gutzler, 1981).

С одной стороны, асинхронные проявления АК, САК, ВАК, по-видимому, можно объяснить корреляцией значений индексов по месяцам. Например, годовой индекс САК в основном обусловлен зимним индексом, а зимний, очевидно, коррелирует со значениями индекса в январе и феврале, а также

ноябре и марте. С другой стороны, в некоторые месяцы вклад асинхронных корреляций превышает вклад синхронных или значимые синхронные корреляции вообще не выделяются. Например, преобладающий вклад декабрьского индекса ВАК и январского индекса САК наблюдается в весенней частоте циклонов Черноморского региона (рис. 3). При этом синхронные проявления декабрьского индекса ВАК превышают проявления САК и АК в декабре и отмечаются в частоте циклонов в разные месяцы. Отложенные проявления зимних индексов САК, превосходящие синхронные проявления, обнаруживаются в частоте циклонов в апреле, мае, июне и октябре.

Для Средиземноморского региона, ожидаемо, частота циклонов наиболее сильно связана синхронно с региональными качелеобразными аномалиями давления на западе и востоке региона, представленными Средиземноморским колебанием. Значительные отклики на это колебание показаны, например, для осадков и температуры разных средиземноморских стран (Conte et al., 1989; Dünkeloh, Jacobeit, 2003; Maheras, Kutiel, 1999; Maheras et al., 1999). Еще более региональное Западное Средиземноморское колебание оказывает значительное влияние на местном уровне, в частности, на Пиренейском полуострове (Martin-Vide, Lopez-Bustins, 2006). Для циклонической активности по региону Западного Средиземноморья в целом аномалии компенсируются, и наибольшие синхронные проявления ЗСК обнаруживаются для Черноморского региона и региона Восточного Средиземноморья только в теплое полугодие. Последнее, вероятно, связано с тем, что индекс ЗСК отражает интенсивность и положение гребня Азорского максимума (Martin-Vide, Lopez-Bustins, 2006).

После регионального СК в частоте циклонов Средиземноморского региона выделяется синхронный вклад САК и АК зимой и ВАК весной. Как считается, отличия региональных проявлений САК и ВАК в Атлантико-Европейском регионе заключаются в том, что САК больше влияет на направление траекторий циклонов (Нестеров, 2013; Нестеров, 2003; Voskresenskaya, Polonskii, 1995), а ВАК – на их интенсивность (Михайлова, Юровский, 2016; Нестеров, 2009; Нестеров, 2016).

Другая группа рассмотренных климатических сигналов относится к Евразийскому региону: колебания Восточная Атлантика/Западная Россия, Скандинавское и Полярное/Евразийское колебание. В отличие от САК, ВАК и АО, эти евразийские колебания могут быть интерпретированы как “зональные волны” согласно работе (Бардин и др., 2015). В своей положительной фазе они связаны с центрами, блокирующими западный перенос и расположенными в зимне-весенний период над западной Европой для ВА/ЗР, в окрестности Скандинавского полуострова для СКАНД и над западной Россией для Пол/Евр (Barnston, Livezey, 1987). Соответственно, усиление циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе происходит при отрицательной фазе ВА/ЗР и положительных фазах СКАНД и Пол/Евр. Это подтверждается полученными результатами.

В настоящем исследовании обнаружен наибольший синхронный отклик (положительный) циклонической активности на Скандинавское колебание

весной и зимой, особенно для региона Западного Средиземноморья. Полярное/Евразийское колебание проявляется в весенний сезон в положительных откликах частоты циклонов Восточного Средиземноморья и Черноморского регионов. Отрицательные отклики на колебание Восточная Атлантика/Западная Россия обнаружены зимой в циклонической активности Западного Средиземноморья и Черноморского регионов.

Эти результаты согласуются с результатами работы (Бардин и др., 2015), которые показывают, что Скандинавское колебание характеризуется более сильными откликами зимой над Средиземным морем по сравнению с колебанием Восточная Атлантика/Западная Россия. В положительных фазах этих колебаний траектории циклонов обтекают блокирующие центры с севера и юга, а в противоположных (отрицательных) фазах в этих центрах наблюдается повышенная циклоническая активность.

Асинхронные отклики этих евразийских колебаний могут проявляться в частоте циклонов Черноморско-Средиземноморского региона как в следующем месяце, так и следующем сезоне и через полгода, со сдвигом до 9 месяцев.

Межгодовые климатические колебания в северной части и тропиках Тихого океана, такие, как Западнотихоокеанское, Восток Тихого океана – Север Тихого океана, Тихоокеанское/Североамериканское, а также Тропики/Северное полушарие, проявляются как синхронно, так и с временной задержкой циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе. Их проявления в циклонах в указанном регионе ранее в других работах не рассматривались. Последнее, в частности, связано с проблемой определения цепочки физических механизмов передачи влияния из Тихого океана в Северную Атлантику и Черноморско-Средиземноморский регион.

Существует общепринятое представление о том, что такие механизмы осуществляются с помощью атмосферных мостов, в которых задействованы тепловые потоки, взаимодействие ячеек общей циркуляции атмосферы Уокера и Гадлея, волны Россби в океане и атмосфере, струйные течения в атмосфере, шторм-треки, циклоны и антициклоны (Rogers, 1990; Trenberth, Hurrell, 1994). Удалённое влияние климатических сигналов Тихого океана может осуществляться через североатлантические центры действия атмосферы (Voskresenskaya, Polonsky, 1993). Это подтверждается тем, что колебания ВТ/СТ, ТСА и ТСП характеризуются наибольшими откликами в циклонической активности в зонах главного североатлантического шторм-трека и Исландского минимума (Maslova et al., 2022).

Наши результаты показывают отрицательные синхронные отклики Западнотихоокеанского колебания в Средиземноморском регионе зимой, колебания ТСА весной, колебания ВТ/СТ в отдельные месяцы (наибольшие в ноябре). При этом проявления ВТ/СТ имеют разный знак в регионе Западного Средиземноморья (положительный) и регионе Черного моря (отрицательный). Что касается колебания ТСП, то наибольшие отклики (отрицательные) наблюдаются в декабре в Черноморском регионе и Восточном Средиземноморье.

Асинхронные проявления межгодовых климатических сигналов северной части Тихого океана выделяются в частоте циклонов Черноморско-Средиземноморского региона.

диземноморского региона как через несколько месяцев, так и сезонов. Раздельный вклад этих тихоокеанских сигналов в среднегодовую повторяемость циклонов Западного и Восточного Средиземноморья достигает более 10%. При этом для Восточного Средиземноморья зимой вклад ЗТК достигает 20%, и вообще по месяцам велика роль тихоокеанских, тропических и междесятилетних климатических сигналов.

Для (Эль-Ниньо) – Южного колебания в настоящей работе обнаружены также значимые синхронные положительные отклики в частоте циклонов весной в регионе Западного Средиземноморья. В отличие от предыдущих колебаний Тихого океана, ЭНЮК и его региональные проявления в Атлантико-Европейском регионе анализируются во многих исследованиях, например (Brönnimann et al., 2006; Fraedrich, Müller, 1992; Mariotti et al., 2002).

Временное запаздывание регионального отклика ЮК может достигать 9 месяцев, что соответствует времени развития зрелой фазы событий (Trenberth, Hurrell, 1994). Например, теплые аномалии температуры поверхности океана зимой при Эль-Ниньо проявляются в весенних осадках в Атлантико-Европейском регионе (Herceg Bulić, Kucharski, 2012). Как показывают полученные в настоящей работе результаты, такой же временной задержкой характеризуются отклики межгодовых тихоокеанских колебаний (ЗТК, ВТ/СТ, ТСА) в частоте циклонов Черноморско-Средиземноморского региона. В связи с тем, что ЭНЮК – основной глобальный климатический сигнал на межгодовом масштабе, это может свидетельствовать о том, что его влияние передается опосредованно с участием атмосферных центров действия Северотихоокеанского региона.

Асинхронные глобальные проявления ЭНЮК и соответствующие физические механизмы описаны во многих работах, например (Brönnimann, 2007; Herceg Bulić, Kucharski, 2012; Kumar, Hoerling, 2003; Polonsky et al., 2004). Влияние ЭНЮК может передаваться в Атлантико-Европейский регион как посредством взаимодействия с другими климатическими сигналами, например САК, так и в качестве ортогонального сигнала (King et al., 2023). САК, в свою очередь, влияет на ЭНЮК с помощью атмосферных барических мостов, включая Азиатский муссон и Индоокеанско-Тихоокеанские связи (Kucharski et al., 2016; Nakamura et al., 2015; Polonsky et al., 2004; Polonsky, Torbinsky, 2021; Voskresenskaya, Polonsky, 1993). Для получения более отчётливых региональных откликов ЭНЮК используют выделение разных типов событий (центральных и восточных) Эль-Ниньо и Ла-Нинья (Воскресенская, Михайлова, 2005; Гущина, Девиц, 2016; Михайлова, Воскресенская, 2010; Ding et al., 2017; Voskresenskaya et al., 2018; Zheleznova, Gushchina, 2016).

Обсуждение детерминированности междесятилетней изменчивости

Ранее проявления десятилетних-междесятилетних колебаний, Атлантической междесятилетней осцилляции (АМО) и Тихоокеанской десятилетней осцилляции (ТДО), рассматривались в циклонах над океанами, например, в работах (Бардин, Воскресенская, 2007; Полонский, 2008; Bardin, Voskresens-

кава, 2007; Polonskii, 2008). Также проводилось сравнение средних величин частоты циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе для разных фаз этих колебаний (Voskresenskaya, Maslova, 2012). Было показано, что циклоническая активность в Черноморско-Средиземноморском регионе в зимне-весенний период усиливается во время положительной фазы АМО и отрицательной фазы ТДО.

Метод композитного анализа, основанный на ранжированных индексах, использованный в этом исследовании, добавил к результатам, полученным ранее, оценки на основе линейной корреляционной связи. Обнаружено, что вклад АМО и ТДО может объяснять около 15% дисперсии частоты циклонов по месяцам. В Черноморском регионе вклад ТДО достигает 16% для частоты циклонов зимой и 10% для среднегодовой частоты циклонов.

Такие более заметные региональные проявления ТДО могут быть связаны с более южным смещением оси зонального переноса из Атлантики в Средиземное море во время отрицательной фазы ТДО, чем во время положительной фазы АМО, как показано в нашей работе (Maslova et al., 2017). С другой стороны, на исследуемом периоде положительная фаза АМО представлена разорванными отрезками в начале и в конце интервала. Это могло повлиять на чёткость определения региональных откликов.

Вообще АМО можно интерпретировать как междесятилетнюю моду САК, но, грубо говоря, с обратным знаком (Полонский, 2008). В противоположность межгодовой моде САК, при положительной фазе АМО атмосферные центры действия в Северной Атлантике смещаются преимущественно к югу (Peings, Magnusdottir, 2014; Polonskii, 2008). Таким образом, отклики на АМО в целом противоположны САК. Как показано нами в (Maslova et al., 2022) для АМО и ТДО, повышается плотность средних траекторий циклонов в субтропиках Северной Атлантики в положительную фазу АМО и над Восточным Средиземноморьем в отрицательную фазу ТДО. Это соответствует логике предыдущих исследований (Бардин, Воскресенская, 2007; Полонский, 2008; Bardin, Voskresenskaya, 2007; Polonskii, 2008; Voskresenskaya, Maslova, 2012).

Оценка суммарного вклада естественных квазипериодических факторов межгодового-междесятилетнего масштаба

Ранее в рамках данного направления исследования в работе (Maslova et al., 2010) был оценен суммарный вклад синхронного индекса САК и индекса ЮК, предшествующего на 2-7 месяцев, для параметров циклонов в изучаемом регионе. Было показано, что совместное влияние САК и ЭНЮК на межгодовом масштабе в отдельные зимние месяцы определяет в Черноморском регионе до 50% изменчивости частоты циклонов, в западной и восточной частях Средиземноморского региона до 30% изменчивости площади и до 25% изменчивости глубины циклонов.

В настоящей работе совместный вклад климатических сигналов в дисперсию частоты циклонов показан с помощью суммирования коэффициентов детерминации – квадратов коэффициентов синхронной линейной корреляции из рис. 3-8. Так, группа атмосферных ортогональных индексов (NAO, EA, EA/

WR, SCAND, POL/EUR, WP, EP-NP, PNA, TNH) вносит следующий суммарный вклад в дисперсию частоты циклонов:

- для Черноморского региона 52% зимой, 20% весной и 38% за год;
- для Западного Средиземноморья 58% и 42% зимой и весной, 43% в среднем за год;
- для Восточного Средиземноморья 14% зимой, 38% весной за счет марта и 10% в среднем за год.

Если заменить индекс NAO на индекс АК, то доля объяснённой дисперсии как правило возрастает на 5-10%.

Группа океанических ортогональных индексов (ENSO, AMO, PDO) с учетом линейного синхронного влияния объясняет 6% дисперсии среднегодовой частоты циклонов Средиземноморского региона за счет весны: 16% и 4% для Западного и Восточного Средиземноморья, соответственно.

Региональное Западное Средиземноморское колебание объясняет около 5% дисперсии частоты циклонов Черноморско-Средиземноморского региона в разные месяцы. Средиземноморское колебание отвечает примерно за 10% дисперсии частоты циклонов в регионе весной и зимой, достигая 20% в Западном Средиземноморье, а в отдельные зимние месяцы – около 30%.

После удаления линейного тренда рядов был проведен анализ множественной линейной регрессии частоты циклонов с оценкой вклада в дисперсию всех 15 индексов, включая индексы АМО и ТДО. Он позволил получить следующие результаты по доле объясненной дисперсии частоты циклонов:

- для Черноморского региона 60% зимой, 58% весной и 60% за год;
- для Западного Средиземноморья 70% зимой, 68% весной и 71% за год;
- для Восточного Средиземноморья 75% зимой, 70% весной, 73% за год.

Кроме того, был проведён анализ без удаления линейного тренда, но с учётом нелинейных связей, а именно с применением экспоненциальной трансформации. В этом случае доля объясненной дисперсии частоты циклонов для приведенного выше перечня возрастает до 97-98%.

Оценка суммарного вклада квазипериодических климатических процессов в изменчивость циклонической активности с помощью множественной линейной регрессии имеет ряд вопросов и допущений. Один из самых важных вопросов – вопрос о взаимодействии сигналов. Во-первых, взаимодействие сигналов нелинейное (Barnett, 1991; Timmermann, 2003). Во-вторых, характер его меняется (Nakamura et al., 2015; King et al., 2023), т.е. наблюдается нестационарность климата (Hlinka et al., 2014). При этом, оценку линейного взаимодействия можно интерпретировать как оценку снизу для современного климатического периода.

Заключение

С использованием четырехсрочных данных высоты геопотенциальной поверхности 1000 гПа из реанализа NCEP / NCAR за период 1951-2017 гг. и методики объективной идентификации и трекинга циклонов М.Ю. Бардина (Бардин, 1995) получены многолетние массивы характери-

стик параметров циклонов для трех составных частей Черноморско-Средиземноморского региона.

Анализ годового хода повторяемости, глубины, площади и интенсивности циклонов выявил их климатические черты отдельно для Черноморского региона, Западного и Восточного Средиземноморья. В общем характере годового хода с повышением величин в холодные месяцы и понижением в теплые месяцы отмечается ряд особенностей. В Черноморском регионе максимум повторяемости циклонов приходится не на зиму, как в Средиземноморских регионах, а на весну (апрель). В Западном Средиземноморье в августе наблюдается локальный максимум повторяемости циклонов.

Сравнение циклонической активности в регионах выявило высокую циклоническую активность в течение всего года с наименьшим разбросом в Западном Средиземноморье. Наибольший разброс параметров циклонов определен в основном для Черноморского региона. В Восточном Средиземноморье повторяемость циклонов зимой выше, а летом – ниже, чем в двух других регионах, что обуславливает наибольшую амплитуду годового хода.

С помощью коэффициентов детерминации показано, какая часть дисперсии частоты циклонов с запаздыванием от 0 до 11 месяцев может быть объяснена изменчивостью известных квазипериодических климатических процессов межгодового-междесятилетнего масштаба.

Преобладающий синхронный вклад Североатлантического колебания с отрицательной корреляцией, наряду с Арктическим и Восточноатлантическим колебаниями в отдельные месяцы, определен для частоты циклонов Черноморского региона (20-30% дисперсии частоты зимой). Около 10-15% дисперсии среднегодовой частоты объясняет раздельный вклад майского индекса Тихоокеанской десятилетней осцилляции (с отрицательной корреляцией), синхронного Скандинавского колебания (с положительной корреляцией), Средиземноморского колебания весенне-летнего периода (с положительной корреляцией) и декабрьского индекса Тропики/Северное полушарие (с отрицательной корреляцией), а также с разным опережением (с положительной корреляцией) индексов Восточноатлантического-Западноросийского колебания весной и Полярно-Евразийского колебания в летне-осенний период.

В изменчивость среднегодовой частоты циклонов Западного Средиземноморья основной вклад вносят синхронное Скандинавское колебание (с положительной корреляцией; более 20% дисперсии весной), январский индекс Восточноатлантического-Западноросийского колебания (с отрицательной корреляцией; около 15% дисперсии частоты), весеннее Восточноатлантическое колебание (с отрицательной корреляцией; около 15% дисперсии), Средиземноморское колебание в феврале и марте (с отрицательной корреляцией; 10-15% дисперсии), а также с разным опережением индекс Западно-Средиземноморского колебания (с положительной корреляцией; 10-15% дисперсии летне-осеннего периода). Около 10% дисперсии среднегодовой частоты – вклад (с отрицательной корреляцией) зимних индексов Тихоокеанско-Североамериканского и Западнотихоокеанского колебаний; 5-10% дисперсии зимней частоты –

вклад (с положительной корреляцией) весенне-летнего Эль Ниньо – Южного колебания и декабряского колебания Тропики/Северное полушарие.

Изменчивость частоты циклонов Восточного Средиземноморья определяется в основном синхронными региональными средиземноморскими колебаниями (с положительной корреляцией), а за счет весны – синхронными Полярно-Евразийским колебанием (с положительной корреляцией) и Восточно-Атлантическим колебанием (с отрицательной корреляцией). При этом 10-20% дисперсии годовой и зимней частоты циклонов обусловлено весенним Тихоокеанско-Североамериканским, июльским Восточно-Северотихоокеанским и январским Западнотихоокеанским колебаниями (с отрицательной корреляцией); 5-10% дисперсии весенней частоты – вклад сентябрьского-октябрьского индекса Тихоокеанской десятилетней осцилляции (с положительной корреляцией) и летне-осеннего индекса Атлантической междесятилетней осцилляции (с отрицательной корреляцией).

С помощью анализа множественной линейной регрессии оценен совместный вклад климатических сигналов в изменчивость частоты циклонов Черноморско-Средиземноморского региона. Доля объясненной дисперсии частоты циклонов с учетом только линейных синхронных проявлений рассмотренных 15-ти климатических сигналов составляет 60-70% в зимне-весенний период и для среднегодовых значений. Эту оценку суммарного линейного вклада климатических процессов в изменчивость циклонической активности можно интерпретировать как оценку снизу для современного климатического периода.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы госзадания ИПТС «Фундаментальные и прикладные исследования закономерностей и механизмов формирования региональных изменений природной среды и климата под влиянием глобальных процессов в системе океан–атмосфера», номер гос. регистрации 124013000609-2.

Список литературы

Бардин, М. (1995) Изменчивость характеристик циклоничности в средней тропосфере умеренных широт Северного полушария, *Метеорология и гидрология*, т. 11, с. 24-37.

Бардин, М., Воскресенская, Е. (2007) Тихоокеанская декадная осцилляция и европейские климатические аномалии, *Морской гидрофизический журнал*, № 4, с. 13-23.

Бардин, М., Платова, Т. (2022) Волны холода в Европейской части России: структура, циркуляционные условия и изменения сезонных статистик, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 8, № 3, с. 5-30.

Бардин, М., Платова, Т., Самохина, О. (2015) Особенности изменчивости циклонической активности в умеренных широтах Северного полушария, свя-

занные с ведущими модами атмосферной циркуляции в Атлантико-Европейском секторе, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 2, с. 14-40.

Бардин, М., Платова, Т., Самохина, О. (2019) Изменчивость антициклонической активности в умеренных широтах Северного полушария, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 3, с. 32-58.

Бардин, М., Платова, Т., Самохина, О. (2021) Долгопериодные изменения повторяемости циклонов в умеренных широтах Северного полушария, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 7, № 2, с. 57-80.

Воскресенская, Е.Н., Михайлова, Н.В. (2005) Особенности изменчивости гидрометеохарактеристик Черноморского региона под влиянием разных типов Эль-Ниньо, *Системы контроля окружающей среды*, вып. 8, с. 262-267.

Горбатенко, В.П., Тунаев, Е.Л., Пустовалов, К.Н., Волкова, М.А., Нечепуренко, О.Е. (2020) Изменения циклогенеза над Западной Сибирью в 1976-2017 гг., *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 2, с. 35-57.

Гущина, Д., Девитт, Б. (2016) Явление Эль-Ниньо и его влияние на процессы в атмосфере и океане, *Труды Государственного океанографического института*, № 217, с. 184-208.

Коваленко, О., Бардин, М., Воскресенская, Е. (2017) Изменения характеристик экстремальности температуры воздуха в Причерноморском регионе и их изменчивость в связи с крупномасштабными климатическими процессами межгодового масштаба, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 2, с. 42-62.

Кононова, Н. (2015) Изменения циркуляции атмосферы Северного полушария в XX-XXI столетиях и их последствия для климата, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 1, с. 133-162.

Кононова, Н. (2018) Типы глобальной циркуляции атмосферы: результаты мониторинга и ретроспективной оценки за 1899-2017 гг., *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 3, с. 108-123.

Лубков, А., Воскресенская, Е. (2021) Метод нейронных сетей для климатического прогнозирования водности Чернореченского водохранилища, *Системы контроля окружающей среды*, № 2, с. 16-28.

Лубков, А., Воскресенская, Е., Сухонос, О. (2022) Прогноз выпадения осадков в районе Ай-Петри на основе модели искусственной нейронной сети, *Водные ресурсы*, т. 49, № 4, с. 517-526.

Михайлова, Н.В., Воскресенская, Е.Н. (2010) Атлантико-Европейские проявления событий Эль-Ниньо разных типов, *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*, № 23, с. 34-39.

Михайлова, Н.В., Юровский, А.В. (2016) Восточноатлантическое колебание: механизм и влияние на климат Европы в зимний период, *Морской гидрофизический журнал*, № 4 (190), с. 27-37.

Нестеров, Е. (2003) О фазах североатлантического колебания, *Метеорология и гидрология*, № 1, с. 64-74.

Нестеров, Е. (2009) О восточно-атлантическом колебании циркуляции атмосферы, *Метеорология и гидрология*, № 12, с. 32-40.

Нестеров, Е.С. (2013) *Североатлантическое колебание: атмосфера и океан*, Москва, Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, 127 с.

Нестеров, Е. (2016) О влиянии североатлантического и восточно-атлантического колебаний на формирование опасного волнения в Северной Атлантике, *Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации*, т. 362, с. 83-91.

Нестеров, Е.С. (2018) Экстремальные циклоны над морями европейской части России, *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, № 1, с. 97-115.

Полонский, А. (2008) Атлантическая мультideкадная осцилляция и ее проявления в Атлантико-Европейском регионе, *Морской гидрофизический журнал*, № 4, с. 69-80.

Alexandersson, H., Tuomenvirta, H., Schmith, T., Iden, K. (2000) Trends of storms in NW Europe derived from an updated pressure data set, *Clim. Res.*, vol. 14, pp. 71-73.

Alpert, P., Baldi, M., Ilani, R., Krichak, S., Price, C., Rodó, X., Saaroni, H., Ziv, B., Kishcha, P., Barkan, J., Mariotti, A., Xoplaki, E. (2006) Chapter 2. Relations between climate variability in the Mediterranean region and the tropics: ENSO, South Asian and African monsoons, hurricanes and Saharan dust, *Developments in Earth and Environmental Sciences*, in P. Lionello, R. Malanotte-Rizzoli, R. Boscolo (eds.), Elsevier, pp. 149-177.

Alpert, P., Neeman, B.U., Shay-El, Y. (1990) Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data, *Tellus Dyn. Meteorol. Oceanogr.*, vol. 42, no. 1, 65.

Bardin, M.Yu., Voskresenskaya, E.N. (2007) Pacific decadal oscillation and European climatic anomalies, *Phys. Oceanogr.*, vol. 17, no. 4, pp. 200-208.

Barnett, T.P. (1991) The interaction of multiple time scales in the tropical climate system, *J. Clim.*, vol. 4, no. 3, pp. 269-285.

Barnston, A.G., Livezey, R.E. (1987) Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns, *Mon. Weather Rev.*, vol. 115, no. 6, pp. 1083-1126.

Brönnimann, S., Xoplaki, E., Casty, C., Pauling, A., Luterbacher, J. (2006) ENSO influence on Europe during the last centuries, *Clim. Dyn.*, vol. 28, no. 2-3, pp. 181-197.

Brönnimann, S. (2007) Impact of El Niño – Southern Oscillation on European climate, *Rev. Geophys.*, vol. 45, no. 3, 2006RG000199.

Campins, J., Genovés, A., Picornell, M.A., Jansà, A. (2011) Climatology of Mediterranean cyclones using the ERA-40 dataset, *Int. J. Climatol.*, vol. 31, no. 11, pp. 1596-1614.

Conte, M., Giuffrida, A., Tedesco, S. (1989) The Mediterranean oscillation: impact on precipitation and hydrology in Italy, *Conference on climate and water, Rome, Suom. akat. julk.*, pp. 121-137.

Ding, S., Chen, W., Feng, J., Graf, H.-F. (2017) Combined impacts of PDO and two types of La Niña on climate anomalies in Europe, *J. Clim.*, vol. 30, no. 9, pp. 3253-3278.

Düneloh, A., Jacobeit, J. (2003) Circulation dynamics of Mediterranean precipitation variability 1948-98, *Int. J. Climatol.*, vol. 23, no. 15, pp. 1843-1866.

Eichler, T.P., Gaggini, N., Pan, Z. (2013) Impacts of global warming on Northern Hemisphere winter storm tracks in the CMIP5 model suite, *J. Geophys. Res. Atmospheres*, vol. 118, no. 10, pp. 3919-3932.

Enfield, D.B., Mestas-Núñez, A.M. (1999) Multiscale variabilities in global sea surface temperatures and their relationships with tropospheric climate patterns, *J. Clim.*, vol. 12, no. 9, pp. 2719-2733.

Flaounas, E., Davolio, S., Raveh-Rubin, S., Pantillon, F., Miglietta, M.M., Gaertner, M.A., Hatzaki, M., Homar, V., Khodayar, S., Korres, G., Kotroni, V., Kushta, J., Reale, M., Ricard, D. (2022) Mediterranean cyclones: current knowledge and open questions on dynamics, prediction, climatology and impacts. *Weather Clim. Dyn.*, vol. 3, no. 1, pp. 173-208.

Fraedrich, K., Müller, K. (1992) Climate anomalies in Europe associated with ENSO extremes, *Int. J. Climatol.*, vol. 12, no. 1, pp. 25-31.

Harvey, B.J., Cook, P., Shaffrey, L.C., Schiemann, R. (2020) The response of the Northern Hemisphere storm tracks and jet streams to climate change in the CMIP3, CMIP5, and CMIP6 climate models, *J. Geophys. Res. Atmospheres*, vol. 125, no. 23, e2020JD032701.

Herceg Bulić, I., Kucharski, F. (2012) Delayed ENSO impact on spring precipitation over North/Atlantic European region, *Clim. Dyn.*, vol. 38, no. 11-12, pp. 2593-2612.

Hlinka, J., Hartman, D., Vejmelka, M., Novotná, D., Paluš, M. (2014) Non-linear dependence and teleconnections in climate data: sources, relevance, nonstationarity, *Clim. Dyn.*, vol. 42, no. 7-8, pp. 1873-1886.

Hurrell, J.W., Deser, C. (2010) North Atlantic climate variability: the role of the North Atlantic Oscillation, *J. Mar. Syst.*, vol. 79, no. 3-4, pp. 231-244.

Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J. (2018) The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Renewable energy*, Routledge, 1st edition, pp. 146-194.

Kerr, R.A. (2000) A North Atlantic climate pacemaker for the centuries, *Science*, vol. 288, no. 5473, pp. 1984-1985.

Kerr, R.A. (2005) Atlantic climate pacemaker for millennia past, decades hence? *Science*, vol. 309, no. 5731, pp. 41-43.

King, M.P., Keenlyside, N., Li, C. (2023) ENSO teleconnections in terms of non-NAO and NAO atmospheric variability, *Clim. Dyn.*, vol. 61, no. 5-6, pp. 2717-2733.

Kucharski, F., Parvin, A., Rodriguez-Fonseca, B., Farneti, R., Martin-Rey, M., Polo, I., Mohino, E., Losada, T., Mechoso, C.R. (2016) The teleconnection of the tropical Atlantic to Indo-Pacific sea surface temperatures on inter-annual to centennial time scales: a review of recent findings, *Atmosphere*, vol. 7, no. 2, 29.

Kumar, A., Hoerling, M.P. (2003) The nature and causes for the delayed atmospheric response to El Niño, *J. of Climate*, vol. 9, no.16, pp. 1391-1403.

Lionello, P., Trigo, I.F., Gil, V., Liberato, M.L.R., Nissen, K.M., Pinto, J.G., Raible, C.C., Reale, M., Tanzarella, A., Trigo, R.M., Ulbrich, S., Ulbrich, U. (2016) Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region: a consensus view among methods with different system identification and tracking criteria, *Tellus Dyn. Meteorol. Oceanogr.*, vol. 68, no. 1, 29391.

Maheras, P., Flocas, H.A., Patrikas, I., Anagnostopoulou, Chr. (2001) A 40 year objective climatology of surface cyclones in the Mediterranean region: spatial and temporal distribution, *Int. J. Climatol.*, vol. 21, no. 1, pp. 109-130.

Maheras, P., Kutiel, H. (1999) Spatial and temporal variations in the temperature regime in the Mediterranean and their relationship with circulation during the last century, *Int. J. Climatol.*, vol. 19, no. 7, pp. 745-764.

Maheras, P., Xoplaki, E., Kutiel, H. (1999) Wet and dry monthly anomalies across the Mediterranean basin and their relationship with circulation, 1860-1990, *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 64, pp. 189-199.

Mantua, N.J., Hare, S.R. (2002) The Pacific decadal oscillation, *J. Oceanogr.*, vol. 58, pp. 35-44.

Mariotti, A., Zeng, N., Lau, K.-M. (2002) Euro-Mediterranean rainfall and ENSO – a seasonally varying relationship, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 29, no. 12, 1621.

Martin-Vide, J., Lopez-Bustins, J. (2006) The western Mediterranean oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula, *Int. J. Climatol., J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 26, no. 11, pp. 1455-1475.

Maslova, V.N., Voskresenskaya, E.N., Lubkov, A.S., Yurovsky, A.V., Zhuravskiy, V.Y., Evstigneev, V.P. (2020) Intense cyclones in the Black Sea region: change, variability, predictability and manifestations in the storm activity, *Sustainability*, vol. 12, no. 11, 4468.

Maslova, V.N., Voskresenskaya, E.N., Lubkov, A.S., Yurovsky, A.V. (2021) Temporal variability and predictability of intense cyclones in the Western and Eastern Mediterranean, *Atmosphere*, vol. 12, no. 9, 1218.

Maslova, V.N., Voskresenskaya, E.N., Lubkov, A.S., Zhuravskiy, V.Yu. (2022) Teleconnections in cyclonic activity in the Atlantic-European region, *Proceedings of the International Research Conference GREG 2022: Greenhouse Gas Emissions Today and in the Geological Past: Sources, impact on climate and environment*, Kazan, Kazan University, p. 32.

Maslova, V.N., Voskresenskaya, E.N., Lubkov, A.S. (2017) Multidecadal change of winter cyclonic activity in the Mediterranean associated with AMO and PDO, *Terr. Atmospheric Ocean. Sci.*, vol. 28, no. 6, pp. 965-977.

Maslova, V., Voskresenskaya, E., Bardin, M. (2010) Variability of the cyclone activity in the Mediterranean-Black Sea region, *J. Environ. Prot. Ecol.*, vol. 11, no. 4, pp. 1366-1372.

McCabe, G.J., Clark, M.P., Serreze, M.C. (2001) Trends in Northern hemisphere surface cyclone frequency and intensity, *J. Clim.*, vol. 14, no. 12, pp. 2763-2768.

Nakamura, T., Hara, M., Oshika, M., Tachibana, Y. (2015) Impact of the winter North Atlantic Oscillation (NAO) on the Western Pacific (WP) pattern in the following winter through Arctic sea ice and ENSO. Part II: multi-model evaluation of the NAO-ENSO linkage, *Clim. Dyn.*, vol. 45, no. 11-12, pp. 3547-3562.

Neu, U., Akperov, M.G., Bellenbaum, N., Benestad, R., Blender, R., Caballero, R., Coccozza, A., Dacre, H.F., Feng, Y., Fraedrich, K., Grieger, J., Gulev, S., Hanley, J., Hewson, T., Inatsu, M., Keay, K., Kew, S.F., Kindem, I., Leckebusch, G.C., Liberato, M.L.R., Lionello, P., Mokhov, I.I., Pinto, J.G., Raible, C.C., Reale, M., Rudeva, I., Schuster, M., Simmonds, I., Sinclair, M., Sprenger, M., Tilinina, N.D., Trigo, I.F., Ulbrich, S., Ulbrich, U., Wang, X.L., Wernli, H. (2013) IMILAST: a community effort to intercompare extratropical cyclone detection and tracking algorithms, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 94, no. 4, pp. 529-547.

Nissen, K.M., Leckebusch, G.C., Pinto, J.G., Renggli, D., Ulbrich, S., Ulbrich, U. (2010) Cyclones causing wind storms in the Mediterranean: characteristics, trends and links to large-scale patterns, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 10, no. 7, pp. 1379-1391.

Peings, Y., Magnusdottir, G. (2014) Forcing of the wintertime atmospheric circulation by the multidecadal fluctuations of the North Atlantic ocean, *Environ. Res. Lett.*, vol. 9, no. 3, 034018.

Polonskii, A.B. (2008) Atlantic multidecadal oscillation and its manifestations in the Atlantic-European region, *Phys. Oceanogr.*, vol. 18, no. 4, pp. 227-236.

Polonsky, A.B., Basharin, D.V., Voskresenskaya, E.N., Worley, S.J., Yurovsky, A.V. (2004) Relationship between the North Atlantic oscillation, Euro-

Asian climate anomalies and Pacific variability, *Pac. Oceanogr.*, vol. 2, no. 1-2, p. 52-66.

Polonsky, A., Torbinsky, A. (2021) The IOD–ENSO interaction: The role of the Indian Ocean current’s system, *Atmosphere*, vol. 12, no. 12, 1662.

Rogers, J.C. (1990) Patterns of low-frequency monthly sea level pressure variability (1899-1986) and associated wave cyclone frequencies, *J. Clim.*, vol. 3, no. 12, pp. 1364-1379.

Thompson, D.W., Wallace, J.M. (2000) Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability, *J. Clim.*, vol. 13, no. 5, pp. 1000-1016.

Timmermann, A. (2003) Decadal ENSO amplitude modulations: A nonlinear paradigm, *Glob. Planet. Change*, vol. 37, no. 1-2, pp. 135-156.

Trenberth, K.E., Hurrell, J.W. (1994) Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific, *Clim. Dyn.*, vol. 9, pp. 303-319.

Trigo, I.F., Bigg, G.R., Davies, T.D. (2002) Climatology of cyclogenesis mechanisms in the Mediterranean, *Mon. Weather Rev.*, vol. 130, no. 3, pp. 549-569.

Trigo, I.F., Davies, T.D., Bigg, G.R. (1999) Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region, *J. Clim.*, vol. 12, no. 6, pp. 1685-1696.

Voskresenskaya, E., Marchukova, O., Maslova, V., Lubkov, A. (2018) Interannual climate anomalies in the Atlantic-European region associated with La-Nina types, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Kazan, IOP Publishing, 012043.

Voskresenskaya, E., Maslova, V. (2012) Joint manifestations of PDO (Pacific Decadal Oscillation) and negative AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation) phases in winter cyclonic activity, *J. Environ. Sci. Eng.*, vol. 1, no. 12A, 1325.

Voskresenskaya, E.N., Maslova, V.N., Lubkov, A.S., Zhuravskiy, V.Y. (2022) Present and future changes in winter cyclonic activity in the Mediterranean–Black Sea region in the 21st century based on an ensemble of CMIP6 models, *Atmosphere*, vol. 13, no. 10, 1573.

Voskresenskaya, E., Polonskii, A. (1995) Trends and interannual variability of parameters of large-scale air-sea interaction in the North Atlantic, *Oceanogr. Lit. Rev.*, vol. 12, no. 42, 1057.

Voskresenskaya, E., Polonsky, A. (1993) Air pressure fluctuations in the North Atlantic and their relationship with El Nino-southern oscillations, *Phys. Oceanogr.*, vol. 4, no. 4, pp. 275-282.

Wallace, J.M. (2000) North Atlantic Oscillation/annular mode: Two paradigms – one phenomenon, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 126, no. 564, pp. 791-805.

Wallace, J.M., Gutzler, D.S. (1981) Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter, *Mon. Weather Rev.*, vol. 109, no. 4, pp. 784-812.

Zheleznova, I., Gushchina, D.Y. (2016) Circulation anomalies in the atmospheric centers of action during the Eastern Pacific and Central Pacific El Niño, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, vol. 41, pp. 760-769.

References

Bardin, M. (1995) Izmenchivost' kharakteristik tsiklonichnosti v sredney troposfere umerennykh shirot Severnogo polushariya [Variability of cyclonicity characteristics in the middle troposphere of the temperate latitudes of the Northern Hemisphere], *Meteorologiya i gidrologiya*, vol. 11, pp. 24-37.

Bardin, M., Voskresenskaya, E. (2007) Tikhookeanskaya dekadnaya ostsillyatsiya i yevropeyskiye klimaticheskiye anomalii [Pacific decadal oscillation and European climatic anomalies], *Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal*, no. 4, pp. 13-23.

Bardin, M., Platova, T. (2022) Volny kholoda v Yevropeyskoy chasti Rossii: struktura, tsirkulyatsionnyye usloviya i izmeneniya sezonnykh statistik [Cold waves in the European part of Russia: structure, circulation conditions and changes in seasonal statistics], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol. 8, no. 3, pp. 5-30.

Bardin, M., Platova, T., Samokhina, O. (2015) Osobennosti izmenchivosti tsiklonicheskoy aktivnosti v umerennykh shirotakh Severnogo polushariya, svyazannyye s vedushchimi modami atmosferno tsirkulyatsii v Atlantiko-Yevropeyskom sektore [Features of the variability of cyclonic activity in the temperate latitudes of the Northern Hemisphere associated with the leading modes of atmospheric circulation in the Atlantic-European sector], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol. 2, pp. 14-40.

Bardin, M., Platova, T., Samokhina, O. (2019) Izmenchivost' antitsiklonicheskoy aktivnosti v umerennykh shirotakh Severnogo polushariya [Variability of anticyclonic activity in temperate latitudes of the Northern Hemisphere], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol. 3, pp. 32-58.

Bardin, M., Platova, T., Samokhina, O. (2021) Dolgoperiodnyye izmeneniya povtoryayemosti tsiklonov v umerennykh shirotakh Severnogo polushariya [Long-period changes in the recurrence of cyclones in the temperate latitudes of the Northern Hemisphere], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol. 7, no. 2, pp. 57-80.

Voskresenskaya, E.N., Mikhailova, N.V. (2005) Osobennosti izmenchivosti gidrometeokharakteristik Chernomorskogo regiona pod vliyaniyem raznykh tipov El'-Nin'o [Features of the variability of hydrometeorological characteristics of the Black Sea region under the influence of different types of El Nino], *Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy* [Environmental control systems], vol. 8, pp. 262-267.

Gorbatenko, V.P., Tunaev, E.L., Pustovalov, K.N., Volkova, M.A., Nechepurenko, O.E. (2020) Izmeneniya tsiklogeneza nad Zapadnoy Sibir'yu v

1976-2017 гг. [Changes in cyclogenesis over Western Siberia in 1976-2017], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol. 2, pp. 35-57.

Gushchina, D., Dewitt, B. (2016) Yavleniye El'-Nin'o i yego vliyaniye na protsessy v atmosfere i okeane [The El Nino phenomenon and its influence on processes in the atmosphere and ocean], *Trudy Gosudarstvennogo okeanograficheskogo instituta* [Proceedings of the State Oceanographic Institute], no. 217, pp. 184-208.

Kovalenko, O., Bardin, M., Voskresenskaya, E. (2017) Izmeneniya kharakteristik ekstremal'nosti temperatury vozdukha v Prichernomorskom regione i ikh izmenchivost' v svyazi s krupnomasshtabnymi klimaticheskimi protsessami mezhgodovogo masshtaba [Changes in the characteristics of air temperature extremes in the Black Sea region and their variability in connection with large-scale climatic processes on an interannual scale], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol. 2, pp. 42-62.

Kononova, N. (2015) Izmeneniya tsirkulyatsii atmosfery severnogo polushariya v XX-XXI stoletiyakh i ikh posledstviya dlya klimata [Changes in the circulation of the atmosphere of the northern hemisphere in the XX-XXI centuries and their consequences for the climate], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol. 1, pp. 133-162.

Kononova, N. (2018) Tipy global'noy tsirkulyatsii atmosfery: rezul'taty monitoringa i retrospektivnoy otsenki za 1899-2017 gg. [Types of global atmospheric circulation: results of monitoring and retrospective assessment for 1899-2017], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol. 3, pp. 108-123.

Lubkov, A., Voskresenskaya, E. (2021) Metod neyronnykh setey dlya klimaticheskogo prognozirovaniya vodnosti Chernorechenskogo vodokhranilishcha [Neural network method for climate prediction of the water content of the Chernorechensk reservoir], *Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy* [Environmental Control Systems], no. 2, pp. 16-28.

Lubkov, A., Voskresenskaya, E., Sukhonos, O. (2022) Prognoz vypadeniya osadkov v rayone Ay-Petri na osnove modeli iskusstvennoy neyronnoy seti [Forecast of precipitation in the Ai-Petri area based on an artificial neural network model], *Vodnyye resursy*, vol. 49, no. 4, pp. 517-526.

Mikhailova, N.V., Voskresenskaya, E.N. (2010) Atlantiko-Yevropeyskiye proyavleniya sobytiy El'-Nin'o raznykh tipov [Atlantic-European manifestations of El Nino events of various types], *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fovoy zon i kompleksnoye ispol'zovaniye resursov shel'fa* [Environmental safety of coastal and shelf zones and integrated use of shelf resources], no. 23, pp. 34-39.

Mikhailova, N.V., Yurovsky, A.V. (2016) Vostochnoatlanticheskoye kolebaniye: mekhanizm i vliyaniye na klimat Yevropy v zimniy period [East Atlantic Oscillation: Mechanism and influence on the climate of Europe in winter], *Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal*, no. 4 (190), pp. 27-37.

Nesterov, E. (2003) O fazakh severoatlanticheskogo kolebaniya [On the phases of the North Atlantic oscillation], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 1, pp. 64-74.

Nesterov, E. (2009) O vostochno-atlanticheskom kolebanii tsirkulyatsii atmosfery [On the East Atlantic fluctuation of atmospheric circulation], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 12, pp. 32-40.

Nesterov, E.S. (2013) *Severoatlanticheskoye kolebaniye: atmosfera i okean* [The North Atlantic Oscillation: atmosphere and ocean], Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation, Moscow, Russia, 127 p.

Nesterov, E. (2016) O vliyaniy severoatlanticheskogo i vostochno-atlanticheskogo kolebaniy na formirovaniye opasnogo volneniya v Severnoy Atlantike [On the influence of North Atlantic and East Atlantic fluctuations on the formation of dangerous waves in the North Atlantic], *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossiyskoy Federatsii* [Proceedings of the Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation], vol. 362, pp. 83-91.

Nesterov, E.S. (2018) Ekstremal'nyye tsiklony nad moryami yevropeyskoy chasti Rossii [Extreme cyclones over the seas of the European part of Russia], *Gidrometeorologicheskiye issledovaniya i prognozy* [Hydrometeorological studies and Forecasts], no. 1, pp. 97-115.

Polonsky, A. (2008) Atlanticheskaya mul'tidekadnaya ostsillyatsiya i yeye proyavleniya v Atlantiko-Yevropeyskom regione [Atlantic multidecadal oscillation and its manifestations in the Atlantic-European region], *Morskoy gidrofizicheskii zhurnal*, no. 4, pp. 69-80.

Alexandersson, H., Tuomenvirta, H., Schmith, T., Iden, K. (2000) Trends of storms in NW Europe derived from an updated pressure data set, *Clim. Res.*, vol. 14, pp. 71-73.

Alpert, P., Baldi, M., Ilani, R., Krichak, S., Price, C., Rodó, X., Saaroni, H., Ziv, B., Kishcha, P., Barkan, J., Mariotti, A., Xoplaki, E. (2006) Chapter 2. Relations between climate variability in the Mediterranean region and the tropics: ENSO, South Asian and African monsoons, hurricanes and Saharan dust, *Developments in Earth and Environmental Sciences*, in P. Lionello, R. Malanotte-Rizzoli, R. Boscolo (eds.), Elsevier, pp. 149-177.

Alpert, P., Neeman, B.U., Shay-El, Y. (1990) Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data, *Tellus Dyn. Meteorol. Oceanogr.*, vol. 42, no. 1, 65.

Bardin, M.Yu., Voskresenskaya, E.N. (2007) Pacific decadal oscillation and European climatic anomalies, *Phys. Oceanogr.*, vol. 17, no. 4, pp. 200-208.

Barnett, T.P. (1991) The interaction of multiple time scales in the tropical climate system, *J. Clim.*, vol. 4, no. 3, pp. 269-285.

Barnston, A.G., Livezey, R.E. (1987) Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns, *Mon. Weather Rev.*, vol. 115, no. 6, pp. 1083-1126.

Brönnimann, S., Xoplaki, E., Casty, C., Pauling, A., Luterbacher, J. (2006) ENSO influence on Europe during the last centuries, *Clim. Dyn.*, vol. 28, no. 2-3, pp. 181-197.

Brönnimann, S. (2007) Impact of El Niño – Southern Oscillation on European climate, *Rev. Geophys.*, vol. 45, no. 3, 2006RG000199.

Campins, J., Genovés, A., Picornell, M.A., Jansà, A. (2011) Climatology of Mediterranean cyclones using the ERA-40 dataset, *Int. J. Climatol.*, vol. 31, no. 11, pp. 1596-1614.

Conte, M., Giuffrida, A., Tedesco, S. (1989) The Mediterranean oscillation: impact on precipitation and hydrology in Italy, *Conference on climate and water, Rome, Suom. akat. julk.*, pp. 121-137.

Ding, S., Chen, W., Feng, J., Graf, H.-F. (2017) Combined impacts of PDO and two types of La Niña on climate anomalies in Europe, *J. Clim.*, vol. 30, no. 9, pp. 3253-3278.

Dükeloh, A., Jacobeit, J. (2003) Circulation dynamics of Mediterranean precipitation variability 1948-98, *Int. J. Climatol.*, vol. 23, no. 15, pp. 1843-1866.

Eichler, T.P., Gaggini, N., Pan, Z. (2013) Impacts of global warming on Northern Hemisphere winter storm tracks in the CMIP5 model suite, *J. Geophys. Res. Atmospheres*, vol. 118, no. 10, pp. 3919-3932.

Enfield, D.B., Mestas-Núñez, A.M. (1999) Multiscale variabilities in global sea surface temperatures and their relationships with tropospheric climate patterns, *J. Clim.*, vol. 12, no. 9, pp. 2719-2733.

Flaounas, E., Davolio, S., Raveh-Rubin, S., Pantillon, F., Miglietta, M.M., Gaertner, M.A., Hatzaki, M., Homar, V., Khodayar, S., Korres, G., Kotroni, V., Kushta, J., Reale, M., Ricard, D. (2022) Mediterranean cyclones: current knowledge and open questions on dynamics, prediction, climatology and impacts. *Weather Clim. Dyn.*, vol. 3, no. 1, pp. 173-208.

Fraedrich, K., Müller, K. (1992) Climate anomalies in Europe associated with ENSO extremes, *Int. J. Climatol.*, vol. 12, no. 1, pp. 25-31.

Harvey, B.J., Cook, P., Shaffrey, L.C., Schiemann, R. (2020) The response of the Northern Hemisphere storm tracks and jet streams to climate change in the CMIP3, CMIP5, and CMIP6 climate models, *J. Geophys. Res. Atmospheres*, vol. 125, no. 23, e2020JD032701.

Herceg Bulić, I., Kucharski, F. (2012) Delayed ENSO impact on spring precipitation over North/Atlantic European region, *Clim. Dyn.*, vol. 38, no. 11-12, pp. 2593-2612.

Hlinka, J., Hartman, D., Vejmelka, M., Novotná, D., Paluš, M. (2014) Non-linear dependence and teleconnections in climate data: sources, relevance, nonstationarity, *Clim. Dyn.*, vol. 42, no. 7-8, pp. 1873-1886.

Hurrell, J.W., Deser, C. (2010) North Atlantic climate variability: the role of the North Atlantic Oscillation, *J. Mar. Syst.*, vol. 79, no. 3-4, pp. 231-244.

Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J. (2018) The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Renewable energy*, Routledge, 1st edition, pp. 146-194.

Kerr, R.A. (2000) A North Atlantic climate pacemaker for the centuries, *Science*, vol. 288, no. 5473, pp. 1984-1985.

Kerr, R.A. (2005) Atlantic climate pacemaker for millennia past, decades hence? *Science*, vol. 309, no. 5731, pp. 41-43.

King, M.P., Keenlyside, N., Li, C. (2023) ENSO teleconnections in terms of non-NAO and NAO atmospheric variability, *Clim. Dyn.*, vol. 61, no. 5-6, pp. 2717-2733.

Kucharski, F., Parvin, A., Rodriguez-Fonseca, B., Farneti, R., Martin-Rey, M., Polo, I., Mohino, E., Losada, T., Mechoso, C.R. (2016) The teleconnection of the tropical Atlantic to Indo-Pacific sea surface temperatures on inter-annual to centennial time scales: a review of recent findings, *Atmosphere*, vol. 7, no. 2, 29.

Kumar, A., Hoerling, M.P. (2003) The nature and causes for the delayed atmospheric response to El Niño, *J. of Climate*, vol. 9, no.16, pp. 1391-1403.

Lionello, P., Trigo, I.F., Gil, V., Liberato, M.L.R., Nissen, K.M., Pinto, J.G., Raible, C.C., Reale, M., Tanzarella, A., Trigo, R.M., Ulbrich, S., Ulbrich, U. (2016) Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region: a consensus view among methods with different system identification and tracking criteria, *Tellus Dyn. Meteorol. Oceanogr.*, vol. 68, no. 1, 29391.

Maheras, P., Flocas, H.A., Patrikas, I., Anagnostopoulou, Chr. (2001) A 40 year objective climatology of surface cyclones in the Mediterranean region: spatial and temporal distribution, *Int. J. Climatol.*, vol. 21, no. 1, pp. 109-130.

Maheras, P., Kutiel, H. (1999) Spatial and temporal variations in the temperature regime in the Mediterranean and their relationship with circulation during the last century, *Int. J. Climatol.*, vol. 19, no. 7, pp. 745-764.

Maheras, P., Xoplaki, E., Kutiel, H. (1999) Wet and dry monthly anomalies across the Mediterranean basin and their relationship with circulation, 1860-1990, *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 64, pp. 189-199.

Mantua, N.J., Hare, S.R. (2002) The Pacific decadal oscillation, *J. Oceanogr.*, vol. 58, pp. 35-44.

Mariotti, A., Zeng, N., Lau, K.-M. (2002) Euro-Mediterranean rainfall and ENSO – a seasonally varying relationship, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 29, no. 12, 1621.

Martin-Vide, J., Lopez-Bustins, J. (2006) The western Mediterranean oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula, *Int. J. Climatol.*, *J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 26, no. 11, pp. 1455-1475.

Maslova, V.N., Voskresenskaya, E.N., Lubkov, A.S., Yurovsky, A.V., Zhuravskiy, V.Y., Evstigneev, V.P. (2020) Intense cyclones in the Black Sea region: change, variability, predictability and manifestations in the storm activity, *Sustainability*, vol. 12, no. 11, 4468.

Maslova, V.N., Voskresenskaya, E.N., Lubkov, A.S., Yurovsky, A.V. (2021) Temporal variability and predictability of intense cyclones in the Western and Eastern Mediterranean, *Atmosphere*, vol. 12, no. 9, 1218.

Maslova, V.N., Voskresenskaya, E.N., Lubkov, A.S., Zhuravskiy, V.Yu. (2022) Teleconnections in cyclonic activity in the Atlantic-European region, *Proceedings of the International Research Conference GREG 2022: Greenhouse Gas Emissions Today and in the Geological Past: Sources, impact on climate and environment*, Kazan, Kazan University, p. 32.

Maslova, V.N., Voskresenskaya, E.N., Lubkov, A.S. (2017) Multidecadal change of winter cyclonic activity in the Mediterranean associated with AMO and PDO, *Terr. Atmospheric Ocean. Sci.*, vol. 28, no. 6, pp. 965-977.

Maslova, V., Voskresenskaya, E., Bardin, M. (2010) Variability of the cyclone activity in the Mediterranean-Black Sea region, *J. Environ. Prot. Ecol.*, vol. 11, no. 4, pp. 1366-1372.

McCabe, G.J., Clark, M.P., Serreze, M.C. (2001) Trends in Northern hemisphere surface cyclone frequency and intensity, *J. Clim.*, vol. 14, no. 12, pp. 2763-2768.

Nakamura, T., Hara, M., Oshika, M., Tachibana, Y. (2015) Impact of the winter North Atlantic Oscillation (NAO) on the Western Pacific (WP) pattern in the following winter through Arctic sea ice and ENSO. Part II: multi-model evaluation of the NAO-ENSO linkage, *Clim. Dyn.*, vol. 45, no. 11-12, pp. 3547-3562.

Neu, U., Akperov, M.G., Bellenbaum, N., Benestad, R., Blender, R., Caballero, R., Coccozza, A., Dacre, H.F., Feng, Y., Fraedrich, K., Grieger, J., Gulev, S., Hanley, J., Hewson, T., Inatsu, M., Keay, K., Kew, S.F., Kindem, I., Leckebusch, G.C., Liberato, M.L.R., Lionello, P., Mokhov, I.I., Pinto, J.G., Raible, C.C., Reale, M., Rudeva, I., Schuster, M., Simmonds, I., Sinclair, M., Sprenger, M., Tilinina, N.D., Trigo, I.F., Ulbrich, S., Ulbrich, U., Wang, X.L., Wernli, H. (2013) IMILAST: a community effort to intercompare extratropical cyclone detection and tracking algorithms, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 94, no. 4, pp. 529-547.

Nissen, K.M., Leckebusch, G.C., Pinto, J.G., Renggli, D., Ulbrich, S., Ulbrich, U. (2010) Cyclones causing wind storms in the Mediterranean: characteristics, trends and links to large-scale patterns, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 10, no. 7, pp. 1379-1391.

Peings, Y., Magnusdottir, G. (2014) Forcing of the wintertime atmospheric circulation by the multidecadal fluctuations of the North Atlantic ocean, *Environ. Res. Lett.*, vol. 9, no. 3, 034018.

Polonskii, A.B. (2008) Atlantic multidecadal oscillation and its manifestations in the Atlantic-European region, *Phys. Oceanogr.*, vol. 18, no. 4, pp. 227-236.

Polonsky, A.B., Basharin, D.V., Voskresenskaya, E.N., Worley, S.J., Yurovsky, A.V. (2004) Relationship between the North Atlantic oscillation, Euro-Asian climate anomalies and Pacific variability, *Pac. Oceanogr.*, vol. 2, no. 1-2, p. 52-66.

Polonsky, A., Torbinsky, A. (2021) The IOD–ENSO interaction: The role of the Indian Ocean current’s system, *Atmosphere*, vol. 12, no. 12, 1662.

Rogers, J.C. (1990) Patterns of low-frequency monthly sea level pressure variability (1899-1986) and associated wave cyclone frequencies, *J. Clim.*, vol. 3, no. 12, pp. 1364-1379.

Thompson, D.W., Wallace, J.M. (2000) Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability, *J. Clim.*, vol. 13, no. 5, pp. 1000-1016.

Timmermann, A. (2003) Decadal ENSO amplitude modulations: A nonlinear paradigm, *Glob. Planet. Change*, vol. 37, no. 1-2, pp. 135-156.

Trenberth, K.E., Hurrell, J.W. (1994) Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific, *Clim. Dyn.*, vol. 9, pp. 303-319.

Trigo, I.F., Bigg, G.R., Davies, T.D. (2002) Climatology of cyclogenesis mechanisms in the Mediterranean, *Mon. Weather Rev.*, vol. 130, no. 3, pp. 549-569.

Trigo, I.F., Davies, T.D., Bigg, G.R. (1999) Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region, *J. Clim.*, vol. 12, no. 6, pp. 1685-1696.

Voskresenskaya, E., Marchukova, O., Maslova, V., Lubkov, A. (2018) Interannual climate anomalies in the Atlantic-European region associated with La-Nina types, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Kazan, IOP Publishing, 012043.

Voskresenskaya, E., Maslova, V. (2012) Joint manifestations of PDO (Pacific Decadal Oscillation) and negative AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation) phases in winter cyclonic activity, *J. Environ. Sci. Eng.*, vol. 1, no. 12A, 1325.

Voskresenskaya, E.N., Maslova, V.N., Lubkov, A.S., Zhuravskiy, V.Y. (2022) Present and future changes in winter cyclonic activity in the Mediterranean–Black Sea region in the 21st century based on an ensemble of CMIP6 models, *Atmosphere*, vol. 13, no. 10, 1573.

Voskresenskaya, E., Polonskii, A. (1995) Trends and interannual variability of parameters of large-scale air-sea interaction in the North Atlantic, *Oceanogr. Lit. Rev.*, vol. 12, no. 42, 1057.

Voskresenskaya, E., Polonsky, A. (1993) Air pressure fluctuations in the North Atlantic and their relationship with El Nino-southern oscillations, *Phys. Oceanogr.*, vol. 4, no. 4, pp. 275-282.

Wallace, J.M. (2000) North Atlantic Oscillation/annular mode: Two paradigms – one phenomenon, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 126, no. 564, pp. 791-805.

Wallace, J.M., Gutzler, D.S. (1981) Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter, *Mon. Weather Rev.*, vol. 109, no. 4, pp. 784-812.

Zheleznova, I., Gushchina, D.Y. (2016) Circulation anomalies in the atmospheric centers of action during the Eastern Pacific and Central Pacific El Niño, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, vol. 41, pp. 760-769.

Статья поступила в редакцию (Received): 21.10.2024.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 10.11.2024.

Принята к публикации (Accepted): 13.12.2024.

Для цитирования / For citation:

Маслова, В.Н., Воскресенская, Е.Н. (2025) Детерминированность временной изменчивости повторяемости циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 11, № 1, с. 75-114, doi:10.21513/2410-8758-2025-1-75-114.

Maslova, V.N., Voskresenskaya, E.N. (2025) Determinacy of temporal variability of cyclone frequency in the Black Sea-Mediterranean region, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 11, no. 1, pp. 75-114, doi:10.21513/2410-8758-2025-1-75-114.

Мониторинг характеристик облачности на территории России по данным наземных наблюдений

Н.Н. Коршунова, С.Г. Давлетшин*

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
Россия, 249035, г. Обнинск Калужской обл., ул. Королева, д. 6

* Адрес для переписки: nnk@meteo.ru

Реферат. Рассматривается разработанная в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» методика мониторинга характеристик облачности на территории России по данным наблюдений на метеорологических станциях. Информационная база мониторинга облачности состоит из исторической информации, сформированной по архивным данным Госфонда ВНИИГМИ-МЦД, и оперативной информации, поступающей по каналам связи в виде телеграмм «СИНОП» с метеорологических станций. В состав информационной базы также входят нормативные характеристики общей и нижней облачности, рассчитанные за базовый период 1991-2020 гг., рекомендованный ВМО для климатических исследований, и временные ряды характеристик, осредненных по всей территории России и по территории квазиоднородных климатических регионов.

Разработанные авторские программные средства для усвоения данных оперативного потока и расчета статистических характеристик облачности с учетом специфики архивного хранения данных в Госфонде ВНИИГМИ-МЦД позволяют оперативно проводить оценку аномальности состояния облачного покрова и выявлять тенденции изменения характеристик облачности сезонного и регионального масштаба.

В качестве результатов работы технологии мониторинга облачности, по данным наземных метеонаблюдений, приведен анализ состояния облачности на территории России в 2021 году. Анализируется аномальность состояния облачного покрова в 2021 году на территории России с использованием следующих характеристик: средний балл общей и нижней облачности, число пасмурных и ясных дней по общей и нижней облачности. Выявлено, что тенденция увеличения среднего балла нижней облачности преобладает во все сезоны, кроме лета. Средний балл общей облачности во все сезоны на большей части страны не меняется. Тенденции изменения числа пасмурных дней по общей облачности во многом согласуются с изменением среднего балла общей облачности. Число пасмурных дней по нижней облачности, в отличие от среднего балла, изменяется гораздо меньше, поскольку средний балл хоть и растет, но не всегда превышает 8 баллов.

Ключевые слова. Мониторинг облачности, общая облачность, нижняя облачность, средний балл облачности, число ясных дней, число пасмурных дней.

Cloud characteristics monitoring on the Russian territory based on the ground observations

N.N. Korshunova, S.G. Davletshin*

All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Centre
(RIHMI-WDC),
6, Korolyov Str., Obninsk, Kaluga Reg., 249035, Russian Federation

*Correspondence address: nnk@meteo.ru

Abstract. The methodology for cloud characteristics monitoring on the territory of Russia based on observational data from meteorological stations is considered. The methodology is developed at RIHMI-WDC. The cloud monitoring information base consists of historical information generated from the archive data of the RIHMI-WDC State Data Fund and operational information received via communication channels in the form of SINOP telegrams from meteorological stations. The information base also includes standard characteristics of total and lower cloudiness that are calculated for the base period 1991-2020 recommended by WMO for climate research, and the time series of characteristics averaged over the entire territory of Russia and over the territory of quasi-homogeneous climatic regions.

The developed authoring software tools for assimilating the operational data flow and calculating the statistical characteristics of cloudiness, with the specifics of archival data storage in the RIHMI-WDC State Data Fund taken into account, allow for the prompt assessment of the abnormal state of cloud cover and the identification of trends in changing cloudiness characteristics on seasonal and regional scales.

The results of the cloud monitoring technology based on ground-based meteorological observations are presented as an analysis of the state of cloudiness in Russia in 2021. The anomaly of the state of cloud cover in 2021 in Russia is analyzed using the following characteristics: average amount of total and lower clouds, the number of cloudy and clear days for total and lower cloudiness. It was found that the trend of increase in the average amount of lower clouds prevails in all seasons except summer. The average amount of total clouds does not change in all seasons in most of the country. The trends for the change in the number of cloudy days by total cloudiness largely agree with the change in the average amount of total cloudiness. The number of cloudy days by lower cloudiness, in contrast to the average cloud amount, changes much less, since the average cloud amount, although growing, does not always exceed 8 points.

Keywords. Cloud monitoring, total cloudiness, lower cloudiness, average cloud amount, number of clear days, number of cloudy days.

Введение

Созданная в России система мониторинга климата дает оценку степени аномальности текущего состояния различных компонентов климатической системы, выявляет экстремальные климатические аномалии и изучает региональные особенности в изменении характеристик основных метеорологических параметров. Результаты анализа состояния различных компонентов климатической системы на территории России ежегодно публикуются в «Докладе об особенностях климата на территории Российской Федерации», который является официальным изданием Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Доклад..., 2024). Облачность играет значительную роль в формировании радиационного баланса нашей планеты, поэтому регулярное слежение за характеристиками облачности, исследование тенденции их изменения является актуальной задачей. С этой целью во ВНИИГМИ-МЦД разрабатывается подсистема мониторинга облачности, для функционирования которой подготовлены специализированные массивы характеристик облачности (Дементьева, 2020) и рассчитаны нормы 1991-2020 гг. в соответствии с требованиями ВМО (Руководящие указания..., 2017).

Создание подсистемы мониторинга облачности на базе спутниковых данных затруднительно из-за очень сложной и трудоемкой обработки этих данных. Кроме того, спутниковые данные доступны за довольно короткий временной период, что не позволяет изучить долгопериодные климатические изменения характеристик облачности.

Наземные и спутниковые наблюдения за облачностью имеют свои преимущества и недостатки (Коршунова, Дементьева, 2023), однако в настоящее время исследования долговременных тенденций изменения характеристик облачности возможно только по данным наземных наблюдений, имеющих достаточно длинные ряды. Как показало исследование (Хлебникова, Салль, 2009), при использовании коротких рядов получается довольно хаотичная картина изменений облачного покрова, не позволяющая выявить каких-либо закономерностей. Существенную роль оказывает наличие неоднородностей в рядах наземных наблюдений, вызванных изменением методики и сроков наблюдений, а также субъективной оценкой характеристик облачности наблюдателем.

Целью данной работы являлась разработка методики мониторинга облачности по данным наземной наблюдательной сети, которая позволит проводить детальный анализ изменений характеристик общей и нижней облачности на территории России для выявления тенденций их изменения регионального и сезонного масштабов.

Информационная база

База данных мониторинга состояния характеристик облачности (БД «ОБЛАЧНОСТЬ») подразделяется на исторические ряды, оперативные дан-

ные и нормативные характеристики. Исторические ряды характеристик облачности сформированы в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» Росгидромета на основе данных Госфонда гидрометеорологической информации (Мамонтов, 1982; Гусаров и др., 1983; Ковалев, Правосудько, 1987). Оперативные данные поступают по каналам связи в виде телеграмм «СИНОП» с метеорологических станций (≈ 1350 пунктов наблюдений). Основные требования к базовым сетям для мониторинга климата сформулированы в рамках Глобальной системы наблюдений за климатом (GCOS, 2002; Peterson et al., 1997).

Согласно программе наблюдений (Наставление..., 1969) за облаками на метеорологических станциях определяют количество и форму облаков, высоту нижней границы облаков. В настоящей работе рассмотрены характеристики количества общей облачности и облачности нижнего яруса. Количество облаков определяется наблюдателем визуально по 10-балльной шкале (Наставление..., 1969). Отсутствие облаков фиксируется как 0 баллов. Если облаками занята 0.1 часть небосвода, количество облаков оценивается 1 баллом, если половина небосвода – 5 баллами и т.д.

Количество облачности кодируется в соответствии с кодом КН-01, где значениями от 0 до 10 кодируют количество фактической облачности, шифр 11 кодирует ситуацию, когда видны только следы облаков (больше 0, но меньше 1 балла), шифр 12 кодирует наличие облачности с просветами (меньше 10 баллов, но больше 9), 13 означает, что облачность невозможно определить (например, из-за тумана). При расчете среднемесячного количества облачности число 11, согласно описанной выше кодировке, соответствует 0.5 балла, 12 соответствует 9.5 балла. Наблюдения со значением 13 (когда количество облачности невозможно определить) не учитывались.

Общая облачность – общее количество облаков, покрывающих небосвод, без подразделения по высотам (ярусам), включая и нижнюю облачность. К облакам нижнего яруса (нижняя облачность) относятся облака с нижней границей ниже 2 км: слоистые (St), слоисто-кучевые (Sc), плоские кучевые (Cu hum). К облакам нижнего яруса относят также облака, занимающие по вертикали несколько ярусов, но нижняя граница которых лежит в нижнем ярусе (Cu cong, Cu med, Cb) (Наставление..., 1969).

Пасмурным состоянием неба называются те случаи, когда облачность покрывала 80-100% небосвода, или 8-10 баллов. Ясным состоянием неба считаются сроки, облачность во время которых была от 0 до 2 баллов (по 10-балльной шкале), согласно оценке наблюдателя (Наставление..., 1969).

В состав информационной базы входят следующие нормативные характеристики по метеостанциям:

- Среднее многолетнее значение (за период 1991-2020 гг.) среднего балла общей облачности;
- Среднее многолетнее значение (за период 1991-2020 гг.) среднего балла облачности нижнего яруса (нижней облачности);
- Среднее многолетнее значение (за период 1991-2020 гг.) числа пасмурных дней по общей облачности;

- Среднее многолетнее значение (за период 1991-2020 гг.) числа пасмурных дней по нижней облачности;
- Среднее многолетнее значение (за период 1991-2020 гг.) числа ясных дней по общей облачности;
- Среднее многолетнее значение (за период 1991-2020 гг.) числа ясных дней по нижней облачности.

Кроме того, в состав информационной базы включены массивы временных рядов характеристик облачности, осредненных по всей территории России и по территории квазиоднородных климатических регионов характеристик (рис. 1 (Алисов, 1956)).

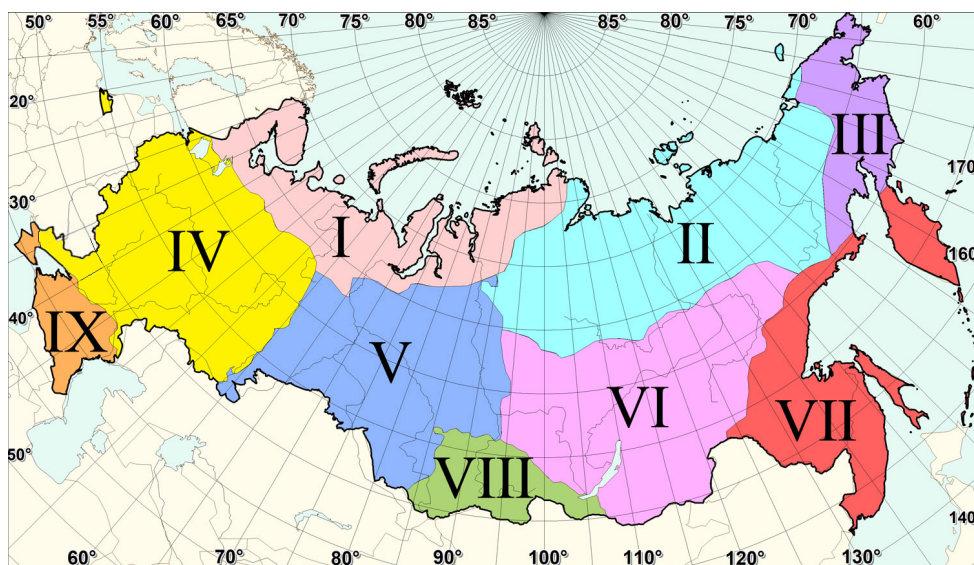


Рисунок 1. Квази-однородные климатические регионы

I – Север ЕЧР и Западной Сибири, II – Северная часть Восточной Сибири и Якутии, III – Чукотка и север Камчатки, IV – Центр ЕЧР, V – Центр и юг Западной Сибири, VI – Центр и юг Восточной Сибири, VII – Дальний Восток, VIII – Алтай и Саяны, IX – Юг ЕЧР

Figure 1. Quasi-homogeneous climatic regions

I – the North of the ER and Western Siberia, II – the Northern part of Eastern Siberia and Yakutia, III – Chukotka and the north of Kamchatka, IV – the Center of the ER, V – the Center and south of Western Siberia, VI – the Center and South of Eastern Siberia, VII – the Far East, VIII – Altai and Sayan, IX - South of the ER

Средние для регионов значения характеристик получены следующим способом. Аномалии на метеостанциях арифметически усреднялись по квадратам сетки (1°N x 2°E), а затем с весовыми коэффициентами в зависимости от широты квадрата проводилось осреднение по регионам, показанным на рис. 1, и территории России. Использованы нормы (среднемноголетние значения) характеристик облачности за период 1991-2020 гг. Ранги и среднеквадратическое отклонение (s) определены по ряду с 1985 года.

Технология мониторинга облачного покрова

Для описания состояния облачного покрова используются следующие характеристики:

- Средний балл общей облачности;
- Средний балл нижней облачности;
- Число ясных дней (0-2 балла) по общей облачности;
- Число ясных дней (0-2 балла) по нижней облачности;
- Число пасмурных дней (8-10 баллов) по общей облачности;
- Число пасмурных дней (8-10 баллов) по нижней облачности.

Технология мониторинга климата включает следующие основные этапы:

- усвоение станционных данных срочного разрешения;
- пополнение БД «ОБЛАЧНОСТЬ» данными текущего года;
- пополнение базовых массивов (ряды срочных данных о формах и среднем балле общей и нижней облачности);
- расчет производных характеристик (среднего за сезон и год балла общей и нижней облачности, среднего за сезон и год числа ясных (0-2 балла) и пасмурных (8-10 баллов) дней;
- расчет аномалий (среднего за сезон и год балла общей и нижней облачности, среднего за сезон и год числа ясных (0-2 балла) и пасмурных (8-10 баллов);
- регионально осредненных характеристик (аномалии и ранги);
- расчет обновленных статистик (на станциях и по регионам), включая оценки трендов.

Аномалия климатической переменной определяется как отклонение от климатической нормы и рассчитывается по формуле:

$$\Delta X_y = X_y - X_{norm},$$

где ΔX_y – значение искомой аномалии в году «у», X_y – значение климатической переменной X в году «у», X_{norm} – норма климатической переменной (среднемультилетнее значение за тридцатилетний период).

Программные средства, разработанные во ВНИИГМИ-МЦД в среде SAS, обеспечивают пополнение базовых массивов данными текущего года и расчет всех производных массивов станционных значений.

Для всех климатических переменных (станционных и пространственно осредненных) рассчитываются обновленные статистики, включая оценки трендов. В комплект статистических характеристик входят: число случаев (лет), среднее, стандартное отклонение, ранг и оценки линейной аппроксимации, полученные методом наименьших квадратов, включая коэффициенты уравнения (свободный член и коэффициент линейного тренда).

В состав материалов мониторинга входит иллюстративный материал (карты, графики, таблицы) и подготовленный на его основе текст, содержащий анализ текущих климатических аномалий и наблюдаемых изменений в

режиме облачности. Карты в данной технологии готовятся с использованием пакета программ в регулярной азимутальной стереографической проекции, где используется стандартный IDW-метод пространственной интерполяции с коэффициентами обратно пропорциональными квадрату расстояния, однако возможно использование и другой ГИС. При подготовке сложных рисунков используются готовые шаблоны, подготовленные в *Adobe Photoshop*, обеспечивающие достаточный уровень автоматизации.

Результаты

В качестве результатов работы технологии мониторинга облачности по данным наземных метеонаблюдений рассмотрим анализ состояния облачности на территории России в 2021 году.

2021 год для России в целом стал 7-м в ранжированном ряду по убыванию среднего балла нижней облачности с 1985 года. Положительные аномалии отмечались на западе и юге ЕТР, на большей части Сибири, на дальневосточном юге, Камчатке, в Магаданской области. Годовые аномалии среднего балла нижней облачности в квази-однородных районах III, VI, VII, VIII и IX попали в десятку наиболее крупных положительных аномалий в ранжированном ряду. Пространственное распределение годовых аномалий среднего балла общей облачности практически аналогичное, но аномалии меньше по абсолютной величине, больше районов, где среднегодовой балл общей облачности близок к климатической норме. Однако осредненные значения в VI, VII, VIII районах попали в десятку наиболее крупных положительных аномалий.

Зимой на большей части Европейской территории (ЕТР), за исключением крайних западных и южных районов, в Западной Сибири и северных районах Красноярского края отмечались отрицательные аномалии среднего балла как общей, так и нижней облачности (рис. 2). Значительные положительные аномалии получены на юге Сибири, Камчатке и прибрежных районах Охотского моря, причем в Прибайкалье и Забайкалье увеличение среднего балла обусловлено увеличением облачности среднего и верхнего ярусов, а на севере Камчатки – увеличением облачности нижнего яруса. Осредненные по площади аномалии среднего балла по общей облачности вошли в десятку наибольших в VI, VII, VIII квази-однородных районах, а по нижней облачности еще и в III и IX. На Дальнем Востоке (район VII) аномалия среднего балла нижней облачности стала рекордной за рассматриваемый период (табл. 1).

Весна более облачной оказалась на юге и юго-западе ЕТР, большей части Западной Сибири, Якутии, на юге Восточной Сибири и Дальнего Востока, за исключением Приморского края. При этом положительные аномалии среднего балла нижней облачности превосходили аналогичные аномалии общей облачности и превысили 1 балл в Приазовье и на Камчатке. Весенние аномалии среднего балла по общей и нижней облачности вошли в десятку наибольших в целом по России и в I, VI, VII, VIII и IX квази-однородных рай-

онах, причем в последнем аномалия по нижней облачности вновь, как и зимой, оказалась рекордной.

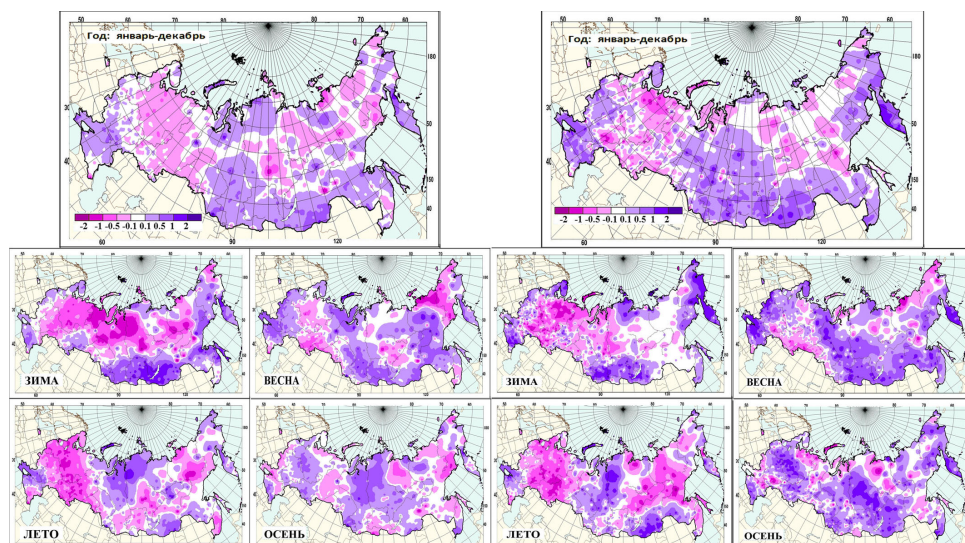


Рисунок 2. Аномалии среднегодового и сезонного балла общей (слева) и нижней (справа) облачности на территории России в 2021 году

Figure 2. Anomalies of the average annual and seasonal score of total (left) and lower (right) clouds in Russia in 2021

Летом на всей ЕТР, за исключением Южного ФО, и Урале преобладала менее облачная, чем обычно, погода. Отрицательные аномалии в отдельных районах по абсолютной величине превысили 1 балл и по общей, и по нижней облачности. Наибольшие положительные аномалии среднего балла общей и нижней облачности отмечены в северных и восточных районах Западной Сибири, а также на севере Красноярского края и в Забайкалье, причем в Забайкалье преобладала облачность нижнего яруса, аномалии которой превысили 1 балл.

Осень выдалась облачной в центральных областях ЕТР, горных районах Северного Кавказа и на большей части Сибири, аномалии среднего балла общей и нижней облачности на 0.5-1.5 балла превысили климатическую норму. В прибрежных районах Магаданской области и центральных районах Камчатки отмечены отрицательные аномалии среднего балла общей облачности и положительные аномалии среднего балла нижней облачности. Осенние аномалии по нижней облачности в III, VII, VIII районах и России в целом попали в десятку наибольших в ранжированном ряду.

Во все сезоны, кроме лета, и за год число пасмурных дней по общей и нижней облачности превышало климатическую норму (рис. 3). Наиболее пасмурной выдалась весна, сезонные аномалии по общей и нижней облачности попали в десятку наибольших с рангами 6 и 3 соответственно. Летом пасмурных дней оказалось значительно меньше нормы по общей и нижней

облачности, при этом отрицательная аномалия числа пасмурных дней по общей облачности стала наименьшей в ранжированном ряду.

Таблица 1. Годовые и сезонные аномалии среднего балла облачности в 2021 году, осредненные по территории квази-однородных климатических регионов России:

Δ – отклонения от средних за 1991-2020 гг.; s – среднеквадратическое отклонение

Table 1. Annual and seasonal anomalies of the average cloud cover in 2021, averaged over the territory of quasi-homogeneous climatic regions of Russia: Δ – deviations from the average for 1991-2020; s – standard deviation

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	Δ	s	Δ	s	Δ	s	Δ	s	Δ	s
Общая облачность										
Россия	0.03	0.11	0.07	0.27	0.15	0.17	-0.19	0.10	0.10	0.20
Север ЕТР и Западной Сибири	-0.10	0.23	-0.51	0.54	0.25	0.34	-0.15	0.31	0.02	0.29
Сев. часть Восточной Сибири и Якутии	-0.03	0.15	-0.06	0.30	-0.10	0.26	0.00	0.21	0.04	0.26
Чукотка и север Камчатки	-0.01	0.23	0.16	0.51	-0.16	0.49	0.10	0.32	-0.11	0.32
Центр ЕТР	-0.16	0.23	-0.28	0.49	0.05	0.34	-0.59	0.31	0.17	0.41
Центр и юг Западной Сибири	0.01	0.23	-0.07	0.50	0.06	0.38	-0.11	0.29	0.16	0.32
Центр и юг Восточной Сибири	0.21	0.13	0.38	0.25	0.26	0.24	0.03	0.18	0.17	0.24
Дальний Восток	0.14	0.15	0.44	0.30	0.18	0.25	-0.08	0.24	0.01	0.21
Алтай и Саяны	0.27	0.19	0.70	0.49	0.48	0.38	-0.05	0.27	-0.07	0.42
Юг ЕЧР	0.09	0.22	0.15	0.32	0.26	0.43	-0.02	0.33	-0.02	0.47
Нижняя облачность										
Россия	0.15	0.19	0.09	0.39	0.35	0.25	-0.12	0.13	0.29	0.27
Север ЕТР и Западной Сибири	-0.05	0.34	-0.23	0.79	0.32	0.41	-0.17	0.37	-0.14	0.48
Сев. часть Восточной Сибири и Якутии	0.04	0.24	0.15	0.23	0.02	0.26	-0.15	0.31	0.17	0.39
Чукотка и север Камчатки	0.44	0.40	0.85	0.64	0.13	0.47	0.19	0.42	0.62	0.53
Центр ЕТР	-0.07	0.30	-0.25	0.71	0.19	0.38	-0.57	0.33	0.32	0.52
Центр и юг Западной Сибири	0.11	0.29	-0.06	0.54	0.15	0.40	0.09	0.36	0.27	0.46
Центр и юг Восточной Сибири	0.35	0.19	0.23	0.21	0.51	0.27	0.11	0.21	0.57	0.30
Дальний Восток	0.27	0.21	0.36	0.24	0.54	0.28	-0.10	0.37	0.27	0.24
Алтай и Саяны	0.36	0.22	0.60	0.34	0.56	0.36	0.09	0.24	0.21	0.42
Юг ЕЧР	0.33	0.22	0.37	0.36	0.66	0.38	0.15	0.23	0.16	0.38

Примечание: Жирным шрифтом выделены аномалии, попавшие в 10 самых больших положительных значений за период 1985-2021 гг.

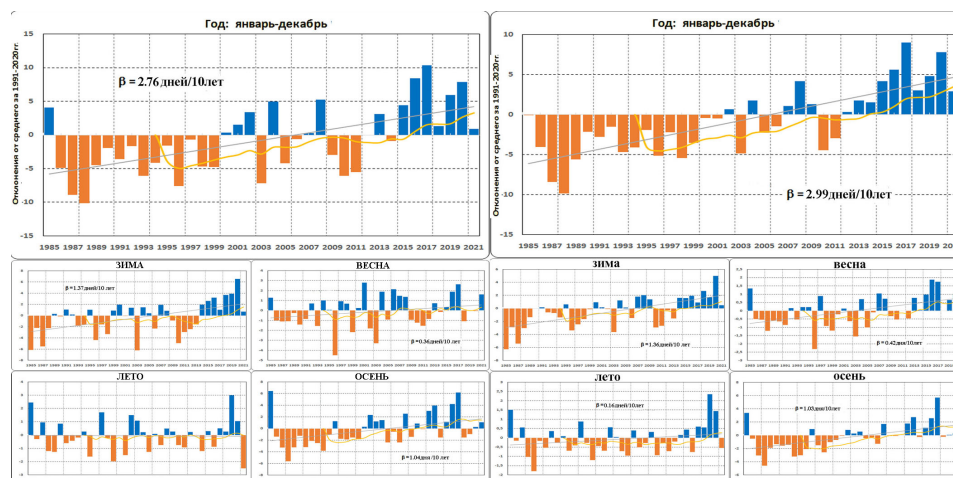


Рисунок 3. Годовые и сезонные аномалии числа пасмурных дней (8-10 баллов) по общей (слева) и нижней (справа) облачности

Figure 3. Annual and seasonal anomalies of the number of cloudy days (8-10 points) in total (left) and lower (right) clouds

Пространственное распределение ясных и пасмурных дней носит пятнистый, во многом зеркальный характер, однако некоторые отличия вносят дни с полужасным состоянием неба (3-7 баллов).

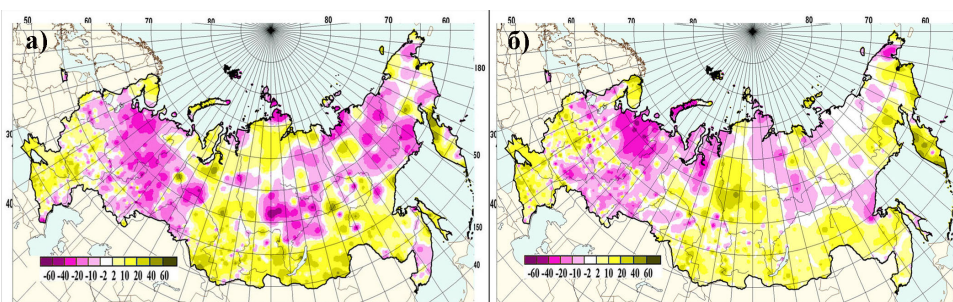


Рисунок 4. Аномалии числа пасмурных дней по общей (а) и нижней (б) облачности на территории России в 2021 году

Figure 4. Anomalies of the number of cloudy days in total (a) and lower (b) clouds in Russia in 2021

На севере и в центре ЕТР отмечено значительное уменьшение пасмурных дней (на 15-25 дней), что привело к увеличению ясных дней, хотя на Южном Урале и в центральных районах Западной Сибири отмечены отрицательные аномалии числа и ясных, и пасмурных дней. В северных и центральных районах Камчатского края число пасмурных дней более чем на 40 дней превысило климатическую норму (рис. 4а). Максимальная положительная аномалия числа пасмурных дней по общей облачности (181 день) отмечена в Змеиногорске Алтайского края, а наибольшая по абсолютной величине отри-

пательная (111 дней) – в Средней Олекме Забайкальского края. Годовые, зимние и весенние аномалии числа пасмурных дней по общей облачности в VI, VII, VIII районах попали в десять наибольших. Кроме этого, в десятку самых крупных аномалий также вошли годовые аномалии по России в целом, весенние аномалии в I районе и по России в целом, летние – в III районе, осенние – в IV, зимние и весенние – в IX районе.

Число пасмурных дней по нижней облачности превысило климатическую норму на западе и юге ЕТР, а также на большей части АТР (рис. 46). Максимальная положительная аномалия (91 день) получена в Полярном Мурманской области. Максимальная по абсолютной величине отрицательная аномалия (63 дня) зафиксирована в Мосеево Архангельской области. В районе Обской Губы число ясных и пасмурных дней по нижней облачности было меньше нормы, т.е. преобладало полуясное (3-7 баллов) состояние неба. 2021 год стал аномальным по числу пасмурных дней по нижней облачности как по стране в целом, так и в большинстве квазиоднородных районов. Годовые аномалии числа пасмурных дней по нижней облачности вошли в десятку наибольших во всех районах, за исключением I, II, IV и V (см. табл. 2).

Пространственное распределение локальных оценок трендов, характеризующих знак и среднюю скорость изменений среднего балла общей и нижней облачности, показано на рис. 5 и 6 соответственно. Заметно, что во все сезоны значительные площади занимают «белые» области, т.е. области, где средний балл общей облачности не меняется. Тенденция увеличения среднего балла общей облачности особенно ярко выражена зимой в северных и западных районах Европейской территории, весной на Урале и в Западной Сибири, что обусловлено увеличением в этих районах циклоничности (Попова, 2018). Наиболее значительные отрицательные коэффициенты линейного тренда зимой получены на севере Таймыра, в северо-западных и центральных районах Якутии, а также летом на ЕТР. Однако коэффициенты линейного тренда, как положительные, так и отрицательные, во все сезоны невелики и составляют 0.2-0.7 балла/10 лет. Максимальный коэффициент линейного тренда 1.1 балла/10 лет получен на метеостанции Екатерино-Никольское (Еврейская АО). При региональном осреднении наибольшие значимые коэффициенты линейного тренда получены зимой в I квази-однородном районе (север ЕТР и Западной Сибири) и весной в V районе (центр и юг Западной Сибири).

Значительно больше изменяется средний бал нижней облачности, особенно в переходные сезоны (рис. 6). На большей части страны весной и осенью выявлена тенденция увеличения среднего бала нижней облачности, коэффициенты линейного тренда составляют 0.2-0.6 балла/10 лет (табл. 3). И только на отдельных станциях весной в Западной Сибири и на севере Камчатки, а осенью еще на Верхней Волге, южных районах Красноярского края и на северо-востоке Якутии отмечаются коэффициенты линейного тренда 0.9-1.1 балла/10 лет. Тенденция уменьшения среднего балла нижней облачности выявлена весной в северо-западных, а осенью – в южных и юго-западных областях ЕТР. Зимой наиболее значительное увеличение среднего балла нижней облачности наблюдается на севере ЕТР и Западной Сибири, а также на севере АТР – районах,

которые находятся в зонах активной циклонической деятельности. Максимальные коэффициенты линейного тренда получены на метеорологических станциях Абрамовский маяк Архангельской области и Каменское Камчатского края (1.3 балла/10 лет и 1.5 балла/10 лет соответственно).

Таблица 2. Средние годовые и сезонные аномалии числа пасмурных дней в 2021 году, осредненные по территории квази-однородных климатических регионов России:
 Δ – отклонения от средних за 1991-2020 гг.; s – среднеквадратическое отклонение

Table 2. Average annual and seasonal anomalies of the number of cloudy days in 2021, averaged over the territory of quasi-homogeneous climatic regions of Russia:
 Δ – deviations from the average for 1991-2020; s – standard deviation

Регион	год		зима		весна		лето		осень	
	Δ	s	Δ	s	Δ	s	Δ	s	Δ	s
Общая облачность										
Россия	1.71	5.03	0.72	2.92	1.63	1.61	-2.50	1.17	1.07	2.71
Север ЕТР и Западной Сибири	-4.47	10.97	-4.23	6.92	3.99	4.05	-2.76	3.98	-0.97	4.55
Сев. часть Восточной Сибири и Якутии	-3.87	6.03	-0.87	2.99	-1.03	2.41	-1.50	2.78	0.93	3.21
Чукотка и север Камчатки	0.05	9.78	2.43	4.72	-3.72	5.40	3.50	4.25	0.13	3.64
Центр ЕТР	-3.51	10.86	-2.37	5.81	0.17	3.13	-7.33	3.40	2.93	5.61
Центр и юг Западной Сибири	0.74	10.17	-0.65	5.79	0.10	3.73	-1.28	3.42	1.72	4.21
Центр и юг Восточной Сибири	5.84	5.57	3.73	2.47	2.51	2.27	-0.21	2.08	0.93	2.45
Дальний Восток	6.23	7.07	2.99	3.11	2.86	3.11	-0.70	3.54	-0.66	2.68
Алтай и Саяны	11.66	8.30	7.39	4.34	4.91	3.97	-0.97	2.67	0.48	4.33
Юг ЕЧР	4.25	9.27	2.51	3.78	3.14	4.04	-0.15	2.46	-0.15	4.28
Нижняя облачность										
Россия	2.74	4.28	0.50	2.31	1.60	0.96	-0.54	0.82	1.34	2.00
Север ЕТР и Западной Сибири	-10.35	9.54	-0.47	6.09	1.0	2.27	-2.82	2.73	-3.26	4.70
Сев. часть Восточной Сибири и Якутии	0.64	4.11	0.44	0.59	0.52	0.95	-1.10	0.97	1.19	1.98
Чукотка и север Камчатки	11.69	10.71	4.81	2.95	0.29	2.92	2.84	3.36	5.24	3.86
Центр ЕТР	-1.37	7.75	-1.31	5.15	0.73	1.72	-2.73	1.78	1.74	3.93
Центр и юг Западной Сибири	2.08	6.19	-0.44	2.67	0.01	1.53	0.79	1.67	0.99	3.17
Центр и юг Восточной Сибири	6.62	3.01	0.77	0.44	1.80	0.77	1.13	1.03	2.89	1.45
Дальний Восток	8.40	5.75	1.82	1.52	3.89	1.71	-0.04	2.94	1.41	1.82
Алтай и Саяны	6.43	3.61	2.60	1.22	1.89	1.39	0.21	1.17	1.78	2.29
Юг ЕЧР	7.63	6.87	4.09	3.16	4.29	2.37	0.63	0.75	0.58	2.56

Примечание: Жирным шрифтом выделены аномалии, попавшие в 10 самых больших положительных или отрицательных значений за период 1985-2021 гг.

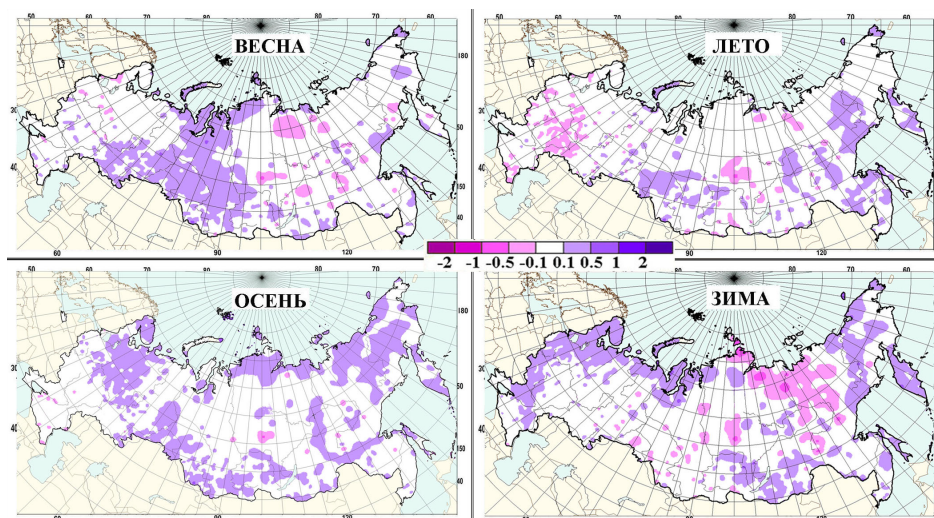


Рисунок 5. Коэффициенты линейного тренда (балл/10 лет) среднего балла общей облачности (значимые на 5% уровне)

Figure 5. Linear trend coefficients (point/10 years) of the average total cloud cover score (significant at the 5% level)

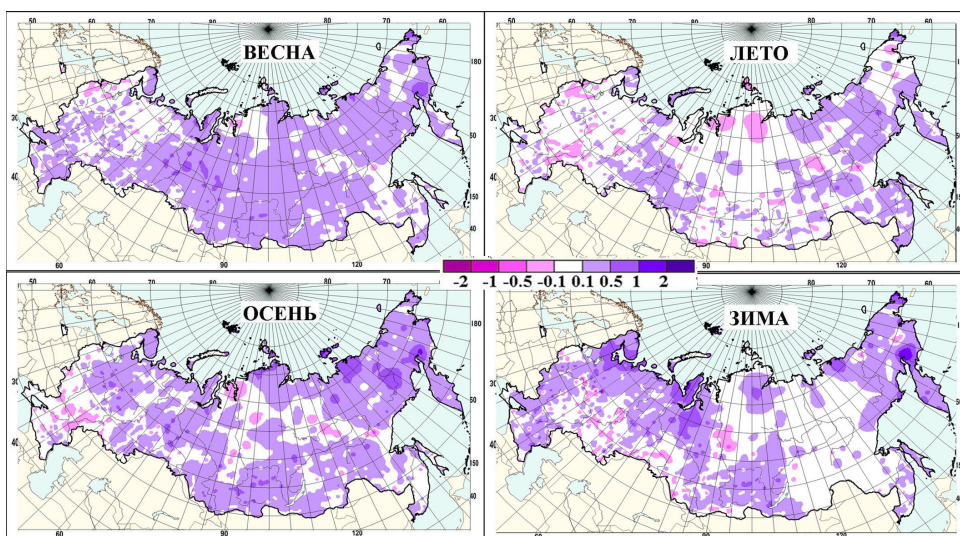


Рисунок 6. Коэффициенты линейного тренда (балл/10 лет) среднего балла нижней облачности (значимые на 5% уровне)

Figure 6. Linear trend coefficients (point/10 years) of the average lower cloud cover score (significant at 5% level)

Таблица 3. Оценки линейного тренда (статистически значимые на 5%-уровне значимости) годовых и сезонных значений среднего балла общей и нижней облачности
NOb, баллы/10 лет – среднее количество общей облачности;
NNb, баллы/10 лет – среднее количество нижней облачности

Table 3. Estimates of the linear trend (statistically significant at 5% significance level) of annual and seasonal values of the average score of total and lower clouds
NOb, points/10 years – average amount of total cloud cover;
NNb, points/10 years – average amount of lower cloud cover

Регион	<i>NOb, баллы/10 лет</i>					<i>NNb, баллы/10 лет</i>				
	год	зима	весна	лето	осень	год	зима	весна	лето	осень
Россия	0.1	0.1	0.1		0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1
Север ЕТР и Западной Сибири	0.1	0.2			0.1	0.2	0.5	0.1	.	0.2
Сев. часть Восточной Сибири и Якутии	0.1				0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3
Чукотка и север Камчатки						0.3	0.4	0.3	0.2	0.4
Центр ЕТР										
Центр и юг Западной Сибири	0.1		0.2		0.1	0.2		0.3	0.1	0.2
Центр и юг Восточной Сибири	0.1	0.1			0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2
Дальний Восток	0.1	0.1		0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Алтай и Саяны						0.2	0.1	0.2		0.2
Юг ЕЧР						0.1	0.2	0.1		

Тенденции изменения числа пасмурных дней по общей облачности во многом согласуются с изменением среднего балла общей облачности. Увеличение пасмурных дней по общей облачности выявлено зимой на западе и севере ЕТР, севере Западной Сибири, весной – на большей части Западной Сибири и Южном Урале, осенью – в центральных областях ЕТР, на юге Западной Сибири, на побережье морей Карского и Лаптевых, а также на Камчатке (рис. 7). Максимальный положительный коэффициент линейного тренда 13.4 дня/10 лет получен весной в Змеиногорске Алтайского края.

Наиболее существенное уменьшение пасмурных дней по общей облачности наблюдается зимой и весной в северо-западных и центральных районах Якутии, отдельных районах Красноярского края и Иркутской области, летом – в центральных районах ЕТР, Красноярского края, Саянах и Верхнеленских районах Иркутской области. Наибольший по абсолютной величине отрицательный коэффициент линейного тренда -12.2 дня/10 лет получен летом на метеорологической станции Муторай в Эвенкии. При этом во все сезоны на территории страны преобладают «белые области», т.е. территории, где число пасмурных дней по общей облачности практически не меняется. Тем не менее, при региональном осреднении за год получены значимые отрицательные тренды как по России в целом, так в пяти квази-однородных районах (см. табл. 4).

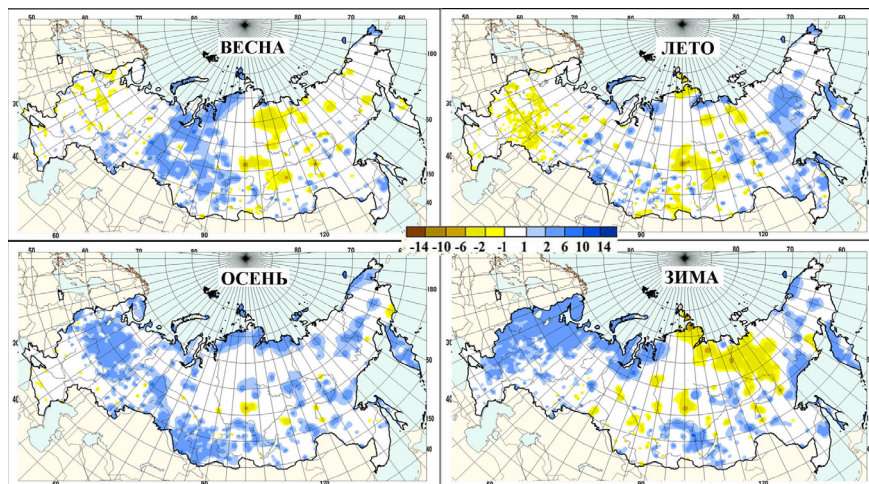


Рисунок 7. Коэффициенты линейного тренда (дни/10 лет) числа пасмурных дней (8-10 баллов) по общей облачности (значимые на 5% уровне)

Figure 7. Linear trend coefficients (days/10 years) of the number of cloudy days (8-10 points) for total cloud cover (significant at 5% level)

Число пасмурных дней по нижней облачности, в отличие от среднего балла, изменяется гораздо меньше, поскольку средний балл хоть и растет, но не всегда превышает 8 баллов. Тенденция увеличения пасмурных дней по нижней облачности выявлена зимой на большей части ЕТР и севере Западной Сибири, осенью – на северо-западе и в центре ЕТР, на юге Западной Сибири и севере Дальневосточного ФО (рис. 8). Тенденцию уменьшения пасмурных дней по нижней облачности можно отметить летом на Таймыре и Гыданском полуострове, а также весной и летом в отдельных районах ЕТР. При региональном осреднении значимые положительные тренды получены зимой и за год для всех квазиоднородных районов и России в целом (табл. 4).

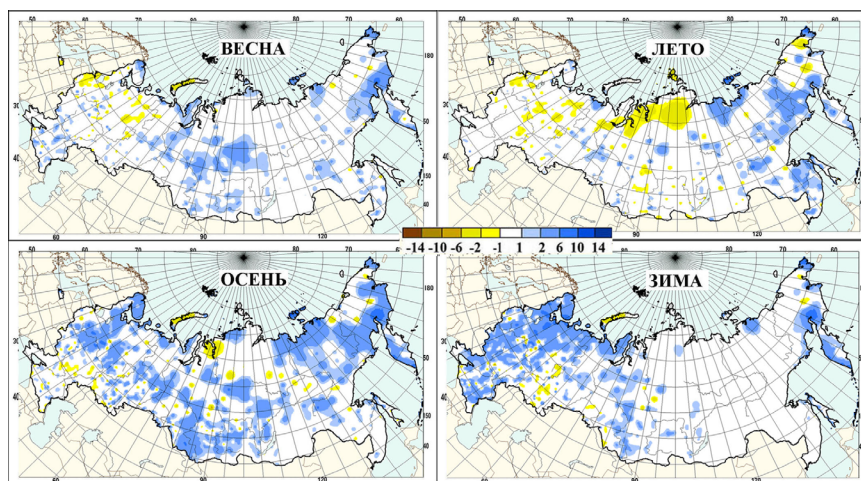


Рисунок 8. Коэффициенты линейного тренда (дни/10 лет) числа пасмурных дней (8-10 баллов) по нижней облачности (значимые на 5% уровне)

Figure 8. Linear trend coefficients (days/10 years) of the number of cloudy days (8-10 points) for lower clouds (significant at 5% level)

Таблица 4. Оценки линейного тренда (статистически значимые на 5% уровне значимости) годовых и сезонных значений числа ясных и пасмурных дней общей и нижней облачности
 Nd_{0-2} , дни/10 лет – число ясных дней; Nd_{8-10} , дни/10 лет – число пасмурных дней

Table 4. Estimates of the linear trend (statistically significant at 5% significance level) of annual and seasonal values of the number of clear and cloudy days of general and lower clouds
 Nd_{0-2} , days/10 years – the number of clear days; Nd_{8-10} , days/10 years – the number of cloudy days

Регион	Nd_{0-2} , дни/10 лет					Nd_{8-10} , дни/10 лет				
	год	зима	весна	лето	осень	год	зима	весна	лето	осень
Общая облачность										
Россия	-1.2		-0.6			2.8	1.4			1.0
Север ЕТР и Западной Сибири	-1.5				-0.3	6.1	3.6			1.8
Сев. часть Восточной Сибири и Якутии	-1.4				-0.6	2.2				1.7
Чукотка и север Камчатки										
Центр ЕТР							2.4		-1.2	
Центр и юг Западной Сибири	-1.5		-1.2			4.5		1.8		1.5
Центр и юг Восточной Сибири	-1.6					1.8				1
Дальний Восток	-2.3	-1.0		-0.5	-0.5	4.9	1.4		1.6	1.2
Алтай и Саяны			-0.9							1.8
Юг ЕЧР										
Нижняя облачность										
Россия	-6.2	-1.8	-2.6	-0.7	-1.1	3.0	1.4	0.4		1.0
Север ЕТР и Западной Сибири	-7.5	-3.6	-1.7		-1.4	5.3	3.5			1.8
Сев. часть Восточной Сибири и Якутии	-10.4	-2.6	-3.0	-1.5	-3.4	3.2	0.3	0.6	0.8	1.4
Чукотка и север Камчатки	-10.9	-5	-2.6		-3	8.5	2.1	1.9	1.8	2.8
Центр ЕТР			-1.9			2.2	1.9		-0.6	
Центр и юг Западной Сибири	-7.0		-3.8	-1.4		3.3	1.0	0.8		1.2
Центр и юг Восточной Сибири	-8.5	-1.7	-3.4	-1.1	-2.4	2.4	0.3	0.6	0.4	1.1
Дальний Восток	-7.1	-2.3	-1.6	-1.5	-1.7	4.7	1.0	1.0	1.5	1.2
Алтай и Саяны	-7.4		-3.4		-2.3	2.4	0.5	0.7		1.4
Юг ЕЧР			-2			1.9	1.4			

Заключение

Необходимость включения облачности в национальную систему климатического мониторинга назрела давно, поскольку она в значительной степени влияет на поступление солнечной радиации и обратное земное излучение. Созданные в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» верифицированные массивы характе-

ристик общей и нижней облачности, в том числе норм за новый базовый период 1991-2020 гг. по среднему количеству общей и нижней облачности, числу ясных (0-2 балла) и пасмурных (8-10 баллов) дней по общей и нижней облачности составят информационную базу мониторинга облачности. Разработанные авторские программные средства для усвоения данных оперативного потока и расчета статистических характеристик облачности с учетом специфики архивного хранения данных в Госфонде ВНИИГМИ-МЦД позволяют оперативно проводить оценку аномальности состояния облачного покрова и выявлять тенденции изменения характеристик облачности сезонного и регионального масштаба.

Список литературы

- Алисов, Б.П. (1956) *Климат СССР*, М., Московский университет, 127 с.
- Гусаров, С.Д. и др. (1983) *Основные метеорологические наблюдения. Описание архива*, Архив ТММ 1, Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, 35 с.
- Дементьева, Т.В. (2020) Среднемесячное количество общей облачности и облачности нижнего яруса, *Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020621717 от 18.09.2020*.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2023 год* (2024) Москва, 107 с.
- Ковалев, Н.П., Правосудько, Т.П. (1987) *Текущая метеорологическая информация станций. Описание архива*, Архив ТМС, Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, 118 с.
- Коршунова, Н.Н., Дементьева, Т.В. (2023) Изменение характеристик облачности на территории России, *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, № 3 (389), с. 139-151, doi: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2023-3-139-151>.
- Мамонтов, Н.В. (1982) *Описание метеорологического архива ВОСХОД режимно-справочного банка данных «Метеорология и климат»*, Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, 44 с.
- Наставление гидрометеорологическим станциям и постам* (1969) Выпуск 3, часть 1, Л., Гидрометиздат, 307 с.
- Попова, В.В. (2018) Современные изменения климата на севере Евразии как проявление вариации крупномасштабной атмосферной циркуляции, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 1, с. 84-111, doi: 10.21513/2410-2018-1-84-111.
- Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм* (2017) ВМО, № 1203, 21 с.
- Хлебникова, Е.И., Салль, И.А. (2009) Особенности климатических изменений облачного покрова над территорией России, *Метеорология и гидрология*, № 7, с. 5-13.

GCOS (2002) *Guide to the GCOS surface and upper-air networks: GSN and Guan (version 1.1)*, GCOS –73, WMO/TD, no. 1106, September 2002.

Peterson et al. (1997) *Initial selection of a GCOS surface network*, GCOS-34, WMO/TD, no. 799, February 1997.

References

Alisov, B.P. (1956) *Klimat SSSR* [Climate of the USSR], Moscow University, Moscow, Russia, 127 p.

Gusarov, S.D. et al. (1983) *Osnovnyye meteorologicheskiye nablyudeniya. Opisaniye arkhiva* [Basic meteorological observations. Description of the archive], TMM 1 Archive, VNIIGMI-MCD, Obninsk, Russia, 35 p.

Dementyeva, T.V. (2020) Srednemesyachnoye kolichestvo obshchey oblachnosti i oblachnosti nizhnego yarusy [Average monthly amount of total cloudiness and low-level cloudiness], *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh № 2020621717 ot 18.09.2020* [Certificate of state registration of the database No. 2020621717 dated 09/18/2020].

Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2023 god [Report on the climate features in the territory of the Russian Federation for 2023] (2024) Moscow, Russia, 107 p.

Kovalev, N.P., Pravosudko, T.P. (1987) *Tekushchaya meteorologicheskaya informatsiya stantsiy. Opisaniye arkhiva* [Current meteorological information of stations. Description of the archive], TMS Archive, VNIIGMI-MCD, Obninsk, Russia, 118 p.

Korshunova, N.N., Dementyeva, T.V. (2023) *Izmeneniye kharakteristik oblachnosti na territorii Rossii* [Changes in cloud characteristics in Russia], *Gidrometeorologicheskiye issledovaniya i prognozy*, no. 3 (389), pp. 139-151, doi: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2023-3-139-151>.

Mamontov, N.V. (1982) *Opisaniye meteorologicheskogo arkhiva VOSKHOD rezhimno-spravochnogo banka dannykh «Meteorologiya i klimat»* [Description of the meteorological archive VOSKHOD of the regime-reference data bank "Meteorology and climate"], VNIIGMI-MCD, Obninsk, Russia, 44 p.

Nastavleniye gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam [Manual for hydrometeorological stations and posts] (1969) Issue 3, part 1, Gidrometizdat, Leningrad, Russia, 307 p.

Popova, V.V. (2018) *Sovremennyye izmeneniya klimata na severe Yevrazii kak proyavleniye variatsii krupnomasshtabnoy atmosferno y tsirkulyatsii* [Modern climate changes in northern Eurasia as a manifestation of variations in large-scale atmospheric circulation], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol. 1, pp. 84-111, doi: 10.21513/2410-2018-1-84-111.

Rukovodyashchiye ukazaniya VMO po raschetu klimaticheskikh norm [WMO Guidelines for the calculation of climate normal] (2017) WMO, no. 1203, 21 p.

Khlebnikova, E.I., Sall, I.A. (2009) Osobennosti klimaticheskikh izmeneniy oblachnogo pokrova nad territoriyey Rossii [Features of climatic changes in cloud cover over the territory of Russia], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 7, pp. 5-13.

GCOS (2002) *Guide to the GCOS surface and upper-air networks: GSN and Guan (version 1.1)*, GCOS –73, WMO/TD, no. 1106, September 2002.

Peterson et al. (1997) *Initial selection of a GCOS surface network*, GCOS-34, WMO/TD, no. 799, February 1997.

Статья поступила в редакцию (Received): 01.08.2024

Статья доработана после рецензирования (Revised): 10.12.2024.

Принята к публикации (Accepted): 13.12.2024.

Для цитирования / For citation:

Коршунова, Н.Н., Давлетшин, С.Г. (2025) Мониторинг характеристик облачности на территории России по данным наземных наблюдений, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 11, № 1, с. 115-133, doi:10.21513/2410-8758-2025-1-115-133.

Korshunova, N.N., Davletshin, S.G. (2025) Cloud characteristics monitoring on the Russian territory based on the ground observations, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 11, no. 1, pp. 115-133, doi:10.21513/2410-8758-2025-1-115-133.

Продолжительности солнечного сияния в Приволжском федеральном округе: оценка состояния и трендов

М.В. Сабирова

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Россия, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18

Адрес для переписки: *Imarina.isaeva@mail.ru*

Реферат. Важной климатической характеристикой является солнечное сияние, его фактическая продолжительность. Исследования пространственной структуры распределения этой величины необходимы для решения различных прикладных задач, в частности, агрометеорологических. В работе проанализированы данные о месячных значениях продолжительности солнечного сияния (ПСС) в Приволжском федеральном округе (ПФО) за 1970-2019 гг. База данных создана и поддерживается во Всероссийском научно-исследовательском институте гидрометеорологической информации – Мировом центре данных (ВНИИГМИ-МЦД). Исследования, представленные в этой работе, выполнены на основе данных о суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния на 30 станциях наблюдений в Приволжском федеральном округе и на прилегающих территориях. Были рассчитаны многолетние средние месячных и годовых сумм ПСС, стандартное отклонение и тренды. Результаты анализа режима ПСС и тенденций его изменения представлены в форме карт-схем.

На территории ПФО многолетние средние значения годовых сумм ПСС за 1970-2019 гг. в целом возрастают с севера на юг в соответствии с астрономической инсоляцией, за исключением некоторых районов Татарстана и Башкортостана. Соответственно, изолинии годовых сумм ПСС имеют практически везде широтный характер, за исключением некоторых районов в Среднем Поволжье.

Наименьшее многолетнее среднее годового значения ПСС наблюдается на севере ПФО и в Перми, а наибольшее – в Оренбурге и на юге Саратовской области. Максимальные значения этой величины довольно стабильны на юге ПФО.

В целом в ПФО наименьшие многолетние средние месячные значения ПСС отмечаются во время зимнего солнцестояния, а наибольшие приходятся на июль или июнь. В холодный период года изолинии многолетних средних месячных значений ПСС на исследуемой территории расположены практически зонально: значения возрастают с северо-запада на юго-восток. В летний период наименьшие значения ПСС наблюдаются в восточных и северо-восточных районах ПФО.

На большей части территории ПФО (кроме северных, восточных и юго-восточных районов) месячные значения ПСС в 1970-2019 гг. в теплый период

календарного года демонстрируют восходящие тренды (уровень значимости 0.05). Самые высокие темпы увеличения ПСС отмечаются в летние месяцы.

Ключевые слова. Солнечная радиация, продолжительность солнечного сияния, состояние, тенденции.

Duration of sunshine in the Volga Federal District: an assessment of status and trends

M.V. Sabirova

Kazan (Volga) Federal University,
18, Kremlevskaya str., 420008, Kazan, Russian Federation

Correspondence address: *Imarina.isaeva@mail.ru*

Abstract. An important climatic characteristic is sunshine and its actual duration. Studies of the spatial distribution structure of this value are necessary for various applications, in particular agrometeorological ones. The paper analyses the data on monthly values of sunshine duration in the Volga Federal District for 1970-2019. The database is created and maintained in the All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Centre. The study presented in this paper were performed on the basis of data on the total monthly duration of sunshine at 30 observation stations in the Volga Federal District and adjacent territories. The multiyear averages of monthly and annual sums of sunshine duration, standard deviation and trends were calculated. The results of the analysis of sunshine duration regime and its trends are presented in the form of maps.

On the territory of the Volga Federal District the multiyear averages of annual of sunshine duration amounts for 1970-2019 generally increase from north to south in accordance with the astronomical insolation, except for some areas of Tatarstan and Bashkortostan. The lowest multiyear average annual of sunshine duration value is observed in the north of the Volga Federal District and in Perm, and the highest – in Orenburg and in the south of the Saratov Oblast.

In general in the Volga Federal District, the lowest multiyear mean of monthly sunshine duration are observed at the time of the winter solstice, and the highest values occur in July or June. In the cold period of the year, the isolines of multiyear mean monthly of sunshine duration in the study area are located almost zonally: the values increase from the north-west to the south-east. In summer, the lowest values of sunshine duration are observed in the eastern and north-eastern regions of the Volga Federal District.

In most of the territory of the Volga Federal District (except for the northern, eastern and south-eastern regions), the monthly values of sunshine duration in 1970-2019 in the warm period of the calendar year show upward trends (at significance level of 0.05). The highest rates of sunshine duration increase are observed in the summer months.

Keywords. Solar radiation, duration of sunshine, status, trends.

Введение

Солнечное сияние в заданной точке географического пространства в заданный момент времени есть освещение земной поверхности лучами Солнца (прямая радиация). Пространственно-временное распределение потока прямой солнечной радиации, поступающей к земной поверхности, исследовалось многими отечественными учеными (Будыко, 1956; Кондратьев, 1954; Климат России, 2001; Радиационный режим..., 1961; Мишенина, Севастьянов, 2018; Переведенцев, Николаев, 2002). Свойства этого распределения за климатически значимый период существенны для формирования климата. Одна из важных характеристик солнечного сияния – его продолжительность (далее – ПСС, продолжительность солнечного сияния). Считается, что в заданной точке географического пространства в заданный момент времени солнечное сияние имеет место, если Солнце не закрыто горизонтом, облаками, туманом или вследствие иных природных явлений (например, из-за пыльной бури).

Эта зависимость солнечного сияния не только от астрономической высоты Солнца над горизонтом, но и от состояния атмосферы, в первую очередь, от облачности, оказывает влияние на многолетние средние значения ПСС. Их пространственное распределение может отклоняться от ожидаемого широтного. При выполнении наблюдений на метеорологических станциях считается, что солнечное сияние имеет место, если это отмечено на ленте гелиографа. Значение ПСС измеряется, обычно, в часах в сутки. При выполнении обобщений суммарное время солнечного сияния оценивается, обычно, для месяца, сезона и года.

Изучаются также и многолетние средние значения ПСС за большие, климатически значимые периоды времени, а также тенденции изменения ПСС за периоды в нескольких десятилетиях. Это необходимо как для исследования процессов в климатической системе, так и для решения прикладных задач сельского хозяйства, гелиоэнергетики и климатотерапии (Переведенцев и др., 2013; Переведенцев и др., 2008). В отличие от работ, посвященных изменениям климата в конце XX века, в данном исследовании использовались метеорологические данные 50-летнего интервала времени, включающего 2000-2019 годы.

Цель данной работы: исследовать на основе данных наблюдений за 1970-2019 гг. режим продолжительности солнечного сияния на территории Приволжского федерального округа, его состояние и наблюдаемые тренды.

Данные и методы

Измерения ПСС, результаты которых используются в данной работе, выполнялись в соответствии с «Наставлением гидрометеорологическим станциям и постам» 1985 года (выпуск 3, часть I, раздел 8). Там же изложены требования к расположению пунктов наблюдений. Все пункты наблюдений соответствовали единым условиям, в том числе по открытости горизонта. Измерения производились сотрудниками метеостанций ПФО ежедневно в течение исследуемого периода. Результаты были обобщены в форме базы дан-

ных, которая хранится и поддерживается во ВНИИГМИ-МЦД – Всероссийском научно-исследовательском институте гидрометеорологической информации – Мировом центре данных (Апасова, Клещенко, 2023).

Данные по каждому пункту наблюдений, представленные в этой базе, имеют месячное разрешение. Для заданного пункта обозначим через x_{ij} суммарную продолжительность (ч) солнечного сияния в j -й месяц календарного года в i -й год t_i из рассматриваемого промежутка времени. Месяцы нумеруются в естественном порядке от января до декабря, $j = 1, 2, \dots, 12$. Продолжительность исследуемого промежутка времени I лет. Годы t_i нумеруются по возрастанию ($i = 1, 2, \dots, I$).

Далее астериск (*) в индексе переменной означает арифметическое осреднение. Например, $x_{i,*}$ есть результат осреднения ПСС за 12 месяцев в год t_i , а $x_{*,j}$ есть результат осреднения значений j -го месяца за весь период наблюдений, т.е. за I лет. Знак (+) в индексе переменной означает суммирование. Например, $x_{i,+}$ есть результат суммирования ПСС по 12-ти месяцам в год t_i , т.е. годовое значение ПСС в i -й год.

В данных x_{ij} имеются некоторые пропуски, которые, за исключением данных за декабрь 2019 года, были заполнены нами с использованием значений на соседних пунктах наблюдений (Наровлянский, 1968). При отсутствии на станции А данных за какой-либо месяц какого-либо года выбиралась станция Б с полным рядом данных за этот месяц, демонстрирующая максимальный коэффициент корреляции (в большинстве случаев более 0.8) месячных значений ПСС с имеющимися для станции А. Далее, отсутствующие данные для станции А восстанавливались с помощью линейной регрессии.

На рис. 1 представлено расположение 30 станций наблюдений в ПФО и на прилегающих территориях, данные которых использованы в этой работе.

Для этих 30 пунктов наблюдений наличие данных за каждый месяц календарного года за 1970-2019 годы было не меньше 82% (исключение – Новоузенск Саратовской области, где всего 77%). Для Оренбурга, Ижевска и станции Чердынь Пермского края (без учета повсеместного отсутствия данных за декабрь 2019 года) наличие данных за исследуемый период достигает 100%.

В данной работе представлены оценки следующих количественных характеристик режима ПСС за период 1970-2019 гг. в пунктах наблюдения в рассматриваемой части географического пространства:

- многолетнее среднее годовой суммы: $x_{i,+}$;
- среднеквадратическое отклонение (СКО) годовых сумм (Исаев, 1988)

$$s = \sqrt{\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I (x_{i,+} - x_{*,+})^2}, \quad (1)$$

- многолетнее среднее месячных значений: $x_{*j}, j = 1, 2, \dots, J$;
- среднеквадратическое отклонение (СКО) месячных значений ПСС

$$s_j = \sqrt{\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I (x_{ij} - x_{*j})^2}. \quad (2)$$

Для характеристики систематических изменений ПСС за исследуемый период времени использовались линейные тренды переменных $x_{i,+}$ и $x_{i,j}, j = 1, 2, \dots, J$, измеряемые коэффициентами линейной регрессии этих характеристик на время. Принятый уровень значимости для тренда 0.05.



Рисунок 1. Карта-схема расположения 30 станций ПФО и пограничных территорий

Figure 1. Location map of 30 stations of the Volga District and adjacent territories

Для визуализации географического распределения значений ПСС и их изменений использованы карты-схемы. В том числе строились изолинии (для ПСС употребляется термин «изогелии»). Для этого применено программное обеспечение Surfer.

Результаты и обсуждение

Многолетние средние значения продолжительности солнечного сияния

На рассматриваемой территории средние за 1970-2019 гг. годовых значений ПСС возрастают с севера на юг за исключением некоторых районов, где возрастание происходит в юго-западном (Башкортостан) и юго-восточном (Татарстан) направлениях (рис. 2). Изолинии ПСС имеют практически широтный характер, слегка изгибаясь к северу в Среднем Поволжье. Наименьшее многолетнее среднее годовое суммы ПСС в 1970-2019 годы наблюдается на севере округа (Чердын, 1722 ч) и в Перми (1752 ч). Наибольшие значения отмечаются в Оренбурге (2330 ч) и на юге Саратовской области (Ершов, 2306 ч). Диапазон изменения этой величины на исследуемой территории составляет около 600 часов.

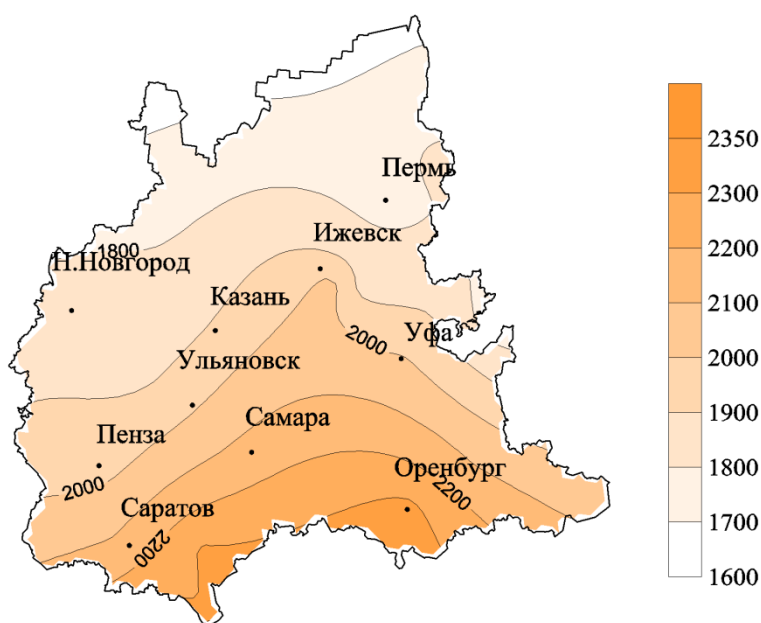


Рисунок 2. Многолетнее среднее годовое суммы ПСС $x^*,+$ в ПФО, ч

Figure 2. Long-term average of yearly total duration of sunshine $x^*,+$ in the Volga Federal District, hr

В годовом ходе месячных сумм ПСС минимум, как правило, приходится на время зимнего солнцестояния, максимум – на июль или июнь, (в зависимости от облачности).

В ПФО многолетнее среднее январских значений ПСС уменьшается постепенно с юго-востока (Оренбургская и Саратовская области, юг Башкортостана) на северо-запад (Кировская и северная часть Нижегородской области, Пермский край, Марий Эл и Чувашия). ПСС составляет здесь от 32-39 до 74-76 часов в месяц (рис. 3).

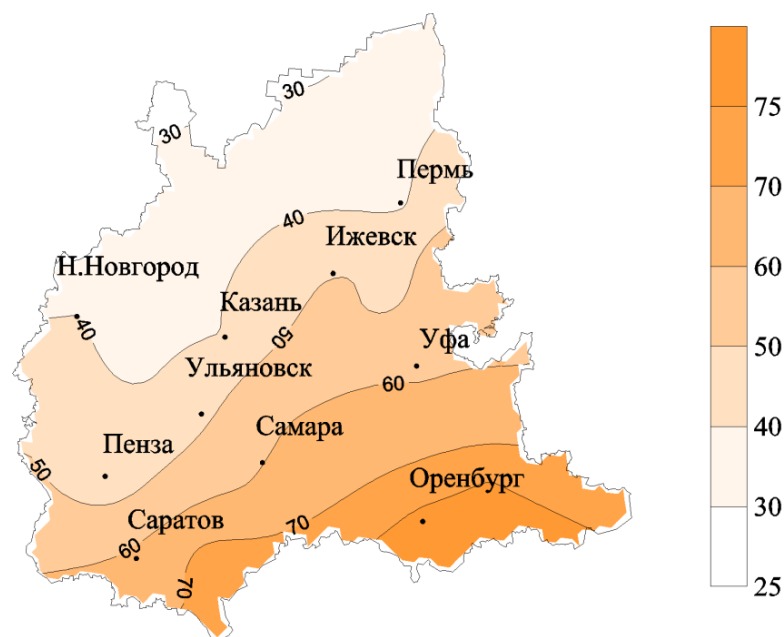


Рисунок 3. Многолетнее среднее январских значений ПСС $x^*, 1$ в ПФО, ч

Figure 3. Long-term average of January monthly duration of sunshine $x^*, 1$ in the Volga Federal District, hr

Аналогичная картина изогелий выявлена в феврале и марте. Меньшие значения ПСС для февраля наблюдаются в Пензе, на севере Пермского края (Чердынь, 75 ч), а большие – в Оренбурге и на юге Башкортостана (Зилаир, 114 ч). Для марта на северо-западной половине ПФО ПСС составляет 135-139 ч (Земетчино Пензенской области, Чердынь Пермского края, Пенза), а на юго-востоке – 165-167 ч (Ершов, Зилаир, Оренбург).

Для апреля наименьшие значения ПСС 196-197 ч наблюдаются на западе, севере и востоке ПФО (Порецкое Чувашской Республики, Чердынь, Пермь), а наибольшие (225-227 ч) – на юге (Ершов, Оренбург), см. рис. 4. Наблюдаемый диапазон изменения – 31 ч. Эти же закономерности характерны для распределения майских значений ПСС, но диапазон в этом случае шире (269-312 ч).

Летом, для июня-июля, на территории ПФО максимальные значения ПСС достигают 301-310 ч и более, а для августа – 256 ч и более (рис. 5). На северо-востоке и севере Башкортостана наблюдаются меньшие значения: Дуван – 283 ч, Янаул, – 288 ч, в Перми – 286 ч, на юго-западе Чувашии (Порецкое, 288 ч) и в столице Марий Эл (Йошкар-Ола, 289 ч). Наибольшие значения ПСС наблюдались в Оренбурге (325 ч) и на юго-востоке Саратовской области (Новоузенск – 325 ч и Ершов – 322 ч). Для июля минимальные значения ПСС отмечены в Дуване (285 ч) и в Перми (289 ч). Максимальные значения наблюдаются на юге округа (Оренбург – 324 ч).

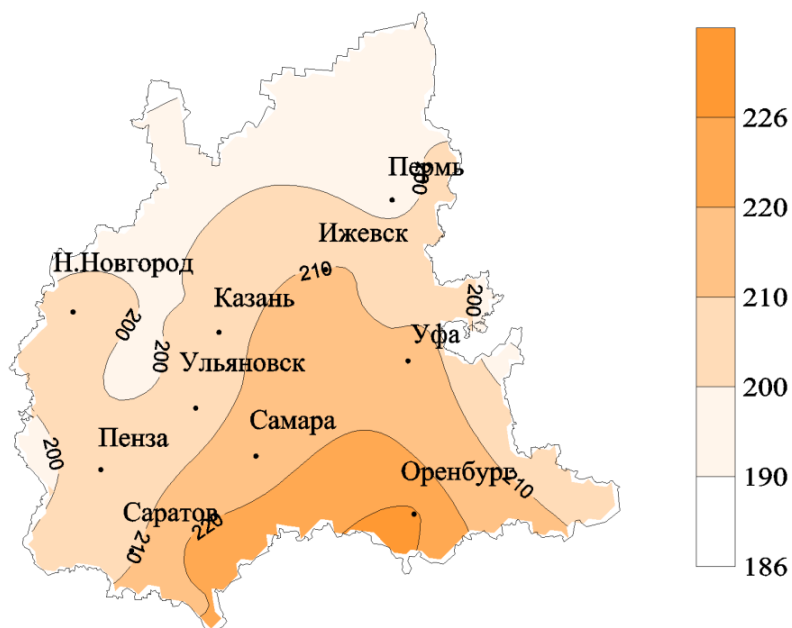


Рисунок 4. Многолетнее среднее апрельских значений ПСС $x^*,4$ в ПФО, ч

Figure 4. Long-term average of April monthly duration of sunshine $x^*,4$ in the Volga Federal District, hr



Рисунок 5. Многолетнее среднее июльских значений ПСС $x^*,7$ в ПФО, ч

Figure 5. Long-term average of July monthly duration of sunshine $x^*,7$ in the Volga Federal District, hr

Диапазон изменения августовских значений ПСС возрастает по сравнению с июнем-июлем – значения ПСС варьируют от 214 ч на северо-востоке и севере Пермского края и Башкортостана до 301 ч на юго-востоке Саратовской области.

Самый широкий диапазон изменений ПСС отмечается для сентября (107 ч). Минимальные значения ПСС отмечаются на севере Кировской области и на большей части Пермского края (114-126 ч). На уровне апрельских значений ПСС осень начинается в самых южных районах: в Оренбурге (218 ч) и Новоузенске Саратовской области (221 ч).

Широтное распределение изогелий на рассматриваемой территории наиболее выражено для октября (рис. 6). ПСС уменьшается от 143 ч на юге до 48 ч на севере ПФО. В ноябре к влиянию широты на распределение ПСС прибавляется существенное влияние фактора облачности (изменение траекторий прохождения циклонов, усиление циркуляционного фактора), и распределение значений ПСС становится аналогично зимнему. В северо-западных и северных районах ПФО (север Кировской области, Йошкар-Ола, большая часть Пермского края) ПСС составляет лишь 28-34 часа в месяц, а на юге и юго-востоке округа в два раза больше – 60-67 часов. Декабрь в годовом ходе ПСС отличается самыми низкими показаниями: от 11 (север Пермского края – Чердынь) до 60 часов (в Оренбурге).

Характер изолиний ПСС на каждом из рис. 3-6 типичен для соответствующего сезона календарного года.

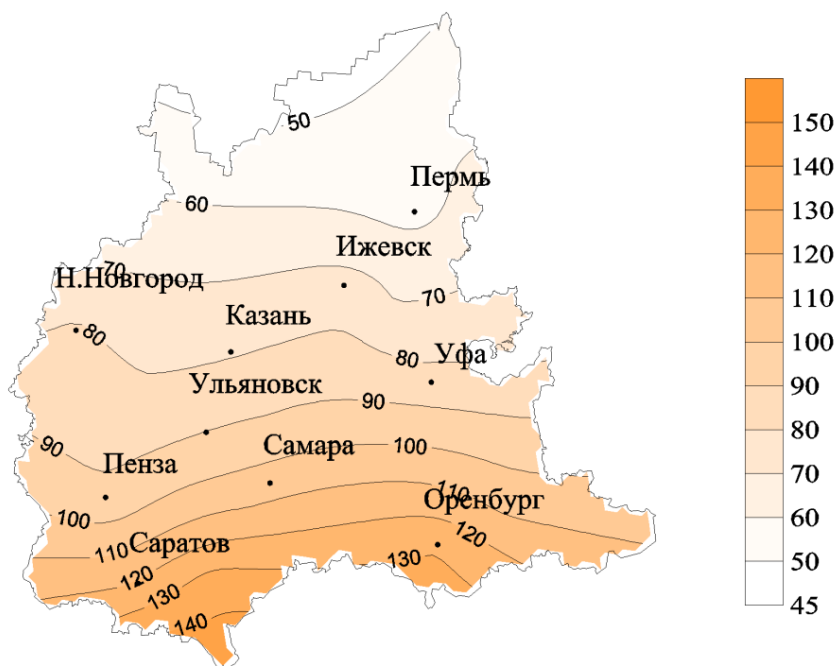


Рисунок 6. Многолетнее среднее октябрьских значений ПСС $x^*, 10$ в ПФО, ч

Figure 6. Long-term average of October monthly duration of sunshine $x^*, 10$ in the Volga Federal District, hr

Пространственное распределение среднеквадратического отклонения (СКО) годовых сумм ПСС на территории Приволжского округа представлено на рис. 7. Эта величина имеет сложную структуру изолиний. В северной части ПФО более выражено влияние фактора широты. Меньшие значения СКО наблюдаются в Кировской области, Пермском крае и на севере Удмуртии (130-160 ч). Остальная территория ПФО характеризуется большими значениями; значение 195 ч достигается в Оренбурге.

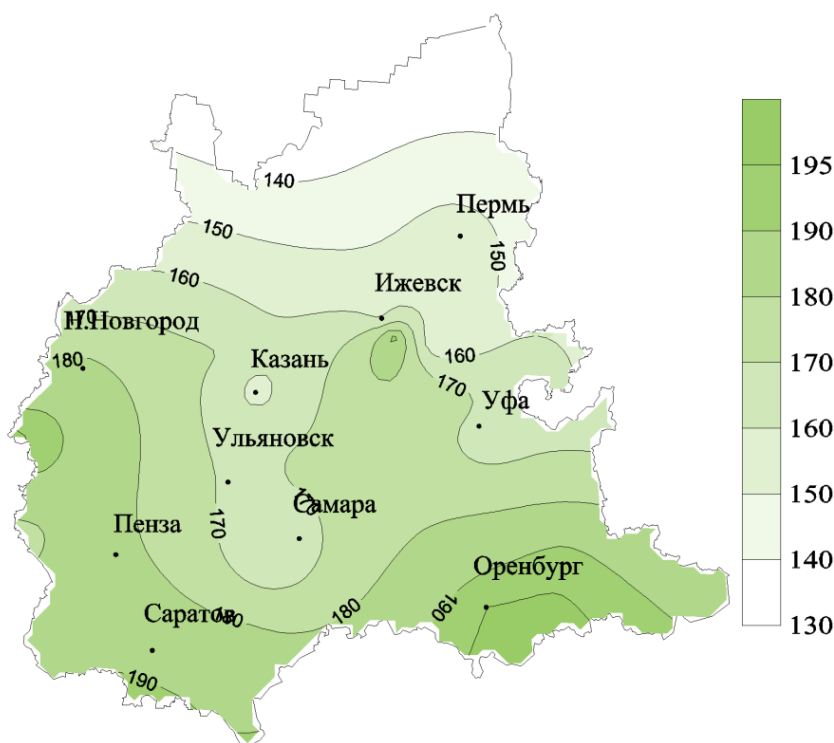


Рисунок 7. Среднеквадратическое отклонение s годовых сумм ПСС в ПФО, ч

Figure 7. Standard deviation s of yearly total duration of sunshine in the Volga Federal District, hr

Значения СКО для ПСС за отдельные месяцы календарного года s_j , $j = 1, 2, \dots, J$, на территории ПФО меняется в широких пределах: от 8 ч в декабре (Чердынь) до 61 ч в июле (Пермь).

Для ноября, декабря и января минимальные значения этой величины отмечаются на севере, северо-западе и северо-востоке ПФО (19-23 ч). На юге и юго-востоке ПФО в это время значения СКО максимальны (27-34 ч).

Февраль в годовом ходе СКО отличается тем, что различие между наибольшими и наименьшими значениями на территории округа минимально (7 ч), тогда как для других месяцев оно более 12 и достигает максимума в июле (29 ч).

Период календарного года с марта по сентябрь характеризуется наибольшими значениями СКО ПСС для отдельных месяцев – от 40 до 48 часов.

Единственный месяц, для которого изолинии СКО ПСС приобретают в целом меридиональное направление – март. Значения этой величины увеличиваются с запада Саратовской и Пензенской областей (34-35 ч, Октябрьский Городок, Пенза) на восток Пермского края, Оренбургской области и юг Башкортостана (49-53 ч, Бисер, Оренбург, Зилаир).

В весенне-летний период распределение СКО ПСС для отдельных месяцев имеет особенно сложный характер. Так, в Саратовской области в этот период отмечаются самые стабильные условия – значения СКО ПСС для отдельных месяцев меняются от 32 до 37 ч. Наибольшие значения СКО ПСС для отдельных месяцев наблюдаются в следующих пунктах: для апреля – 46 ч в Удмуртии и на севере Пермского края; для мая – 47 ч в западных районах Пензенской и Нижегородской области; для июня – 56 ч в Нижнем Новгороде; для июля и августа – в Перми 61 ч и 52 ч соответственно.

В сентябре ситуация несколько другая: наименьшее значение СКО ПСС отмечается на севере Пермского края (Чердынь, 32 ч), а наибольшее – в Удмуртии (48 ч, Сарапул).

Для октября распределение значений СКО ПСС в ПФО близко к широтному. Значения возрастают с севера (Чердынь, 18 ч) на юг (Оренбург, 43 ч).

Многолетние тренды продолжительности солнечного сияния

Для каждой из 30 станций были вычислены линейные тренды годовых значений ПСС и значений ПСС для каждого отдельного месяца календарного года. Все оценки трендов для пунктов наблюдений для летних месяцев, которые больше или равны по абсолютной величине 0.8 ч/год, являются статистически значимыми на уровне 0.05, однако в отдельных случаях и меньшие по модулю тренды оказывались значимыми.

Для марта на территории ПФО увеличение ПСС отмечено только в Пензе (около 0.7 ч/год). В апреле заметный рост ПСС (на 0.85-1.05 ч/год) наблюдается в западных пунктах наблюдений: Нижний Новгород, Йошкар-Ола, Пенза и Поречское (Чувашия). Примерно такая же ситуация (с трендом 0.77-1.24 ч/год) наблюдается в мае: к таким пунктам можно отнести также Ижевск и Сарапул (Удмуртия) (рис. 8а).

В июне восходящий тренд ПСС от 0.79 ч/год (Зилаир, юг Башкирии) до 1.26 ч/год (Оренбург) наблюдается в Саратовской, Самарской, Оренбургской областях, а также в Пензе и Йошкар-Оле. Для июня изолинии представлены на рис. 8б.

Для июля (рис. 9а) совокупность станций с положительным трендом ПСС расширяется: к упомянутым выше можно добавить пункты наблюдений в Нижегородской, Пензенской и Самарской областях, Сарапул (Удмуртия), Поречское (Чувашия), пункты Кушнаренково и Дуван Республики Башкортостан. Самые высокие темпы увеличения ПСС в июле отмечаются в Пензе, Н. Новгороде и Сарапуле (1.35, 1.32 и 1.21 ч/год соответственно).

Для августа линейный тренд ПСС меняется от 0.7 ч/год (Оренбург) до 1.18 ч/год (Н. Новгород). Значимыми трендами ПСС для этого месяца обладают станции Пензенской области (кроме Земетчино), Нижегородской,

Самарской и Саратовской областей, станции Республик Чувашии, Марий Эл и Татарстана, Сарапул (Удмуртии) и станции западной части Оренбургской области (рис. 96).

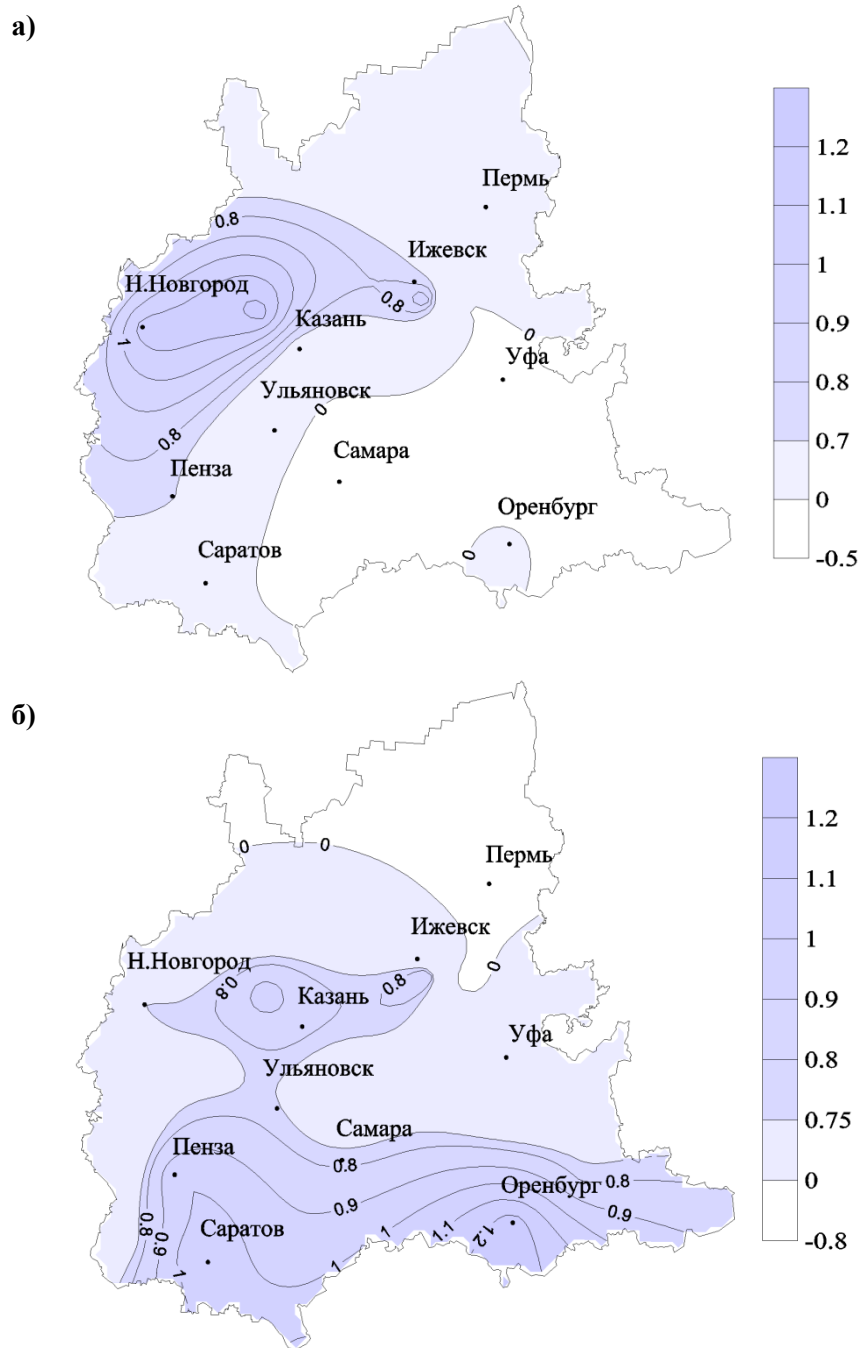


Рисунок 8. Линейный тренд ПСС (ч/год) на территории ПФО: а) май, б) июнь

Figure 8. Linear trends in monthly sunshine duration (hr/year) in the Volga District: a) May, b) June

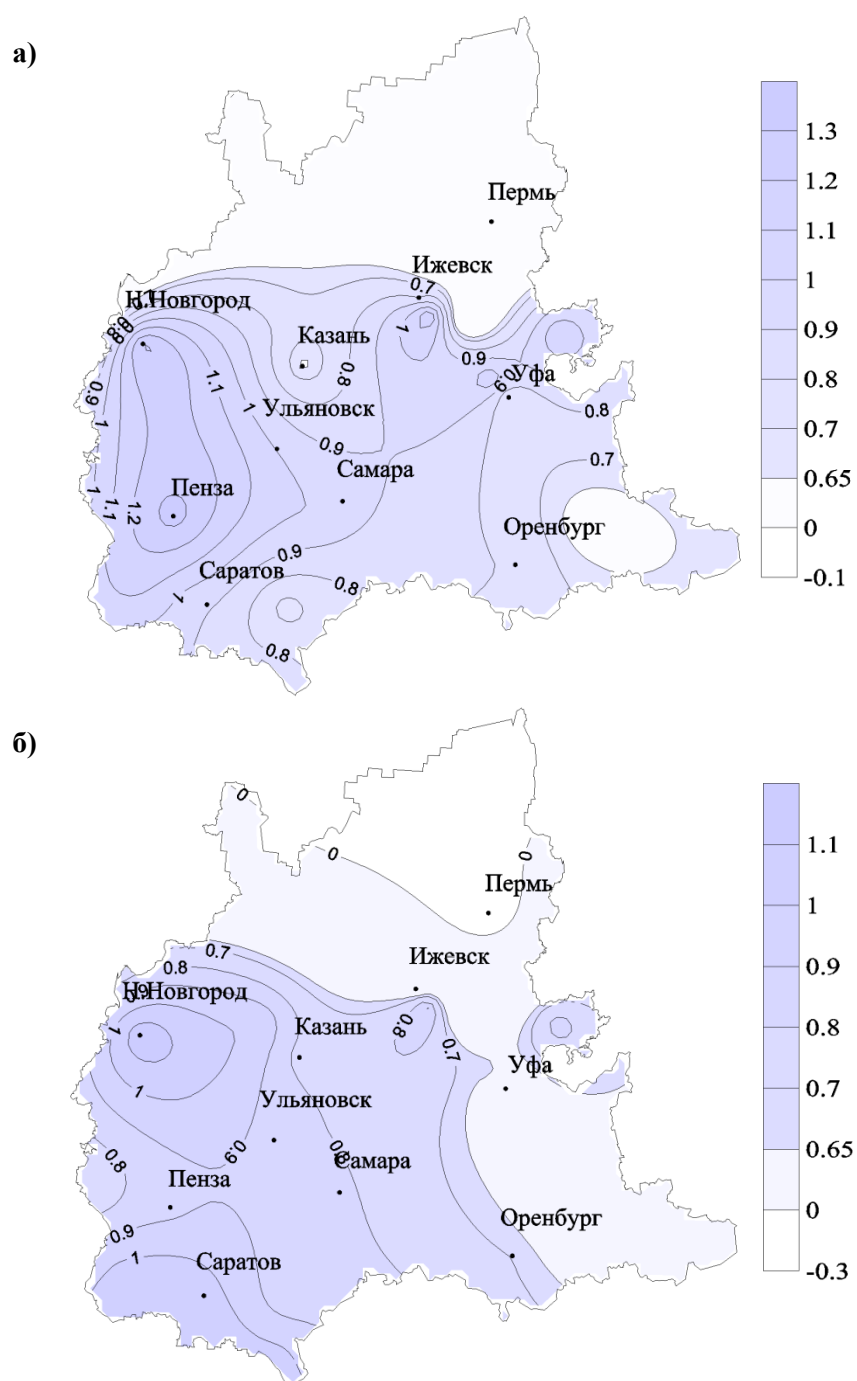


Рисунок 9. Линейный тренд ПСС (ч/год) на территории ПФО: а) июль, б) август

Figure 9. Linear trends in monthly sunshine duration (hr/year) in the Volga District: a) July, b) August

В многолетнем ходе продолжительности солнечного сияния для сентября и октября значимых трендов не обнаружено. В ноябре продолжительность солнечного сияния увеличивается со скоростью 0.4-0.98 ч/год только в самых южных городах округа: Заметчино (Пензенская область), Оренбург, Ершов и Новоузенск (Саратовская область). Среди всех метеостанций ПФО выделяется Сарапул (Удмуртия): только здесь в зимние месяцы отмечаются значимые положительные тренды ПСС (0.4-0.6 ч/год). В январе такой же тренд наблюдается еще и на станции в Ижевске.

Значимые положительные тренды годовой суммы ПСС обнаружены на станциях, находящихся в западных, центральных и южных районах ПФО, за исключением станций в Казани, Октябрьском Городке (Саратовской области) и Безенчуке (юго-запад Самарской области). Таких станций, где обнаружены тренды, 14. Наибольшие значения наблюдаются на станциях в Сарапуле (юго-восток Удмуртии) за счет зимнего периода и в Пензе и Нижнем Новгороде – за счет летнего (8.3 и 6.5-6.6 ч/год соответственно). Распределение изолиний линейного тренда годовых сумм ПСС по территории ПФО сходно с августовским.

В исследуемом периоде годовое значение ПСС на большей части ПФО была минимальной в 1990 году (от 1467 ч в Перми до 2062 ч в Новоузенске, Саратовская область) (табл. 1).

Таблица 1. Экстремальные значения годового значения ПСС на станциях в ПФО за период 1970-2018 гг.

Table 1. Extreme values of yearly total of sunshine duration at the stations of the Volga district in 1970-2018

Станция	Регион	Минимум ПСС в часах, (год наблюдения)	Максимум ПСС в часах, (год наблюдения)
Нижний Новгород	Нижегородская область	1500 (1990)	2458 (2018)
Йошкар-Ола	Марий Эл	1465 (1980)	2188 (2010)
Порецкое	Чувашская Республика	1520 (1983)	2229 (2018)
Пенза	Пензенская область	1646 (1992)	2397 (2009)
Заметчино	Пензенская область	1558 (1990)	2363 (2010)
Казань	Татарстан	1627 (1990)	2336 (2010)
Чулпаново	Татарстан	1702 (1990)	2482 (1996)
Безенчук	Самарская область	1840 (1990)	2531 (2010)
Ижевск	Удмуртская Республика	1648 (1978)	2328 (2010)
Сарапул	Удмуртская Республика	1591 (1983)	2478 (2010)
Пермь	Пермский край	1446 (1992)	2075 (1981)
Бисер	Пермский край	1565 (1994)	2120 (1988)
Чердынь	Пермский край	1481 (1978)	2001 (1981)
Уфа	Башкортостан	1669 (1990)	2373 (2010)

Станция	Регион	Минимум ПСС в часах, (год наблюдения)	Максимум ПСС в часах, (год наблюдения)
Янаул	Башкортостан	1565 (1978)	2332 (2010)
Кушнаренково	Башкортостан	1578 (1983)	2369 (2010)
Дуван	Башкортостан	1558 (1990)	2369 (2010)
Зилаир	Башкортостан	1619 (1990)	2413 (1996)
Оренбург	Оренбургская область	1872 (1990)	2706 (1996)
Октябрьский Городок	Саратовская область	1573 (1990)	2516 (1996)
Росташи	Саратовская область	1662 (1990)	2425 (1996)
Новоузенск	Саратовская область	1870 (1980)	2708 (1996)
Ершов	Саратовская область	1961 (1990)	2770 (1996)

Наибольшие годовые значения ПСС в ПФО наблюдались в 1996 г. (от 1813 ч в Пензе до 2770 ч в Ершове, Саратовская область) и 2010 годы (от 1835 ч, Чердынь, Пермский край до 2631 ч, Оренбург).

Наибольшие значения ПСС для отдельных месяцев календарного года приходятся в основном на 2009-2019 годы.

В исследуемый период в годовом ходе месячных сумм ПСС наблюдались заметные изменения. В западных и юго-западных районах ПФО со временем наиболее солнечными становятся весенние и летние месяцы. В Перми, Башкирии и Удмуртии максимумы месячных значений ПСС наблюдаются в последние годы не только летом, но и зимой.

Заключение

По данным наблюдений установлено, что на территории ПФО средние значения годовых сумм ПСС за 1970-2019 гг. возрастают с севера на юг в соответствии с астрономической инсоляцией, за исключением некоторых районов Татарстана и Башкортостана, что, вероятно, связано с фактором облачности. Изолинии годовых сумм ПСС имеют практически везде широтный характер, за исключением некоторых районов в Среднем Поволжье. Наименьшее многолетнее среднее годовое значение ПСС наблюдается на севере ПФО и в Перми, а наибольшее – в Оренбурге и на юге Саратовской области.

В целом в ПФО наименьшие месячные многолетние средние значения ПСС отмечаются во время зимнего солнцестояния, а наибольшие приходятся на июль или июнь в зависимости от облачности. В летний период наименьшие значения ПСС наблюдаются в северо-восточных и восточных районах ПФО. Максимальные значения довольно стабильны на юге ПФО. На большинстве метеостанций ПФО сезонные максимумы ПСС по месяцам приходятся в основном на 2009-2019 годы.

На большей части территории ПФО (кроме северных, восточных и юго-восточных районов) месячные значения ПСС в 1970-2019 гг. в теплый период

демонстрируют восходящие тренды (уровень значимости 0.05). Самые высокие темпы увеличения продолжительности солнечного сияния отмечаются в летние месяцы.

Благодарности

Автор выражает благодарность редакции журнала за полезные советы и критические замечания по форме и содержанию представленной работы.

Список литературы

Апасова, Е.Г., Клещенко, Л.К. (2023) *Описание массива данных суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния на станциях России*, URL: <http://meteo.ru/data/160-sunshine-duration#описание-массива-данных> (дата обращения 12.02.2023).

Будыко, М.И. (1956) *Тепловой баланс земной поверхности*, Л., Гидрометеиздат, 254 с.

Исаев, А.А. (1988) *Статистика в метеорологии и климатологии*, М., Издательство МГУ, 244 с.

Климат России (2001) Под ред. Н.В. Кобышевой, СПб, Гидрометеиздат, 655 с.

Кондратьев, К.Я. (1954) *Лучистая энергия Солнца*, Л., Гидрометеиздат, 600 с.

Мишенина, Ю.А., Севастьянов, В.В. (2018) Продолжительность солнечного сияния в лесной зоне Западно-Сибирской равнины, *Географический вестник*, № 4 (47), с. 77-89.

Наровлянский, Г.Я. (1968) *Авиационная климатология*, Л., Гидрометеиздат, 267 с.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам (1985) Л., Гидрометеиздат, вып. 3, ч. 1, 300 с.

Переведенцев, Ю.П., Николаев, А.А. (2002) *Климатические ресурсы солнечной радиации и ветра на территории Среднего Поволжья и возможности их использования в энергетике*, Казань, Отечество, 122 с.

Переведенцев, Ю.П., Соколов, В.В., Наумов, Э.П. (2013) *Климат и окружающая среда Приволжского федерального округа*, Казань, Издательство Казанского университета, 274 с.

Переведенцев, Ю.П., Шерстюков, Б.Г., Наумов, Э.П., Верещагин, М.А., Шанталинский, К.М. (2008) *Климатические условия и ресурсы Республики Татарстан*, Казань, Издательство Казанского университета, 288 с.

Радиационный режим территории СССР (1961) Под ред. Е.П. Барашковой, В.Л. Гаевского, Л.Н. Дьяченко, К.М. Лугиной, З.И. Пивоваровой, Л., Гидрометеиздат, 528 с.

References

Apasova, E.G., Kleshchenko, L.K. (2023) *Opisaniye massiva dannykh summarnoy za mesyats prodolzhitel'nosti solnechnogo siyaniya na stantsiyakh Rossi* [Description of the data set of the total monthly duration of sunshine at the stations of Russia], available at: www.meteo.ru (accessed: 12 February 2023).

Budyko, M.I. (1956) *Teplovoy balans zemnoy poverkhnosti* [Thermal balance of the earth surface], Leningrad, Russia, 254 p.

Isaev, A.A. (1988) *Statistika v meteorologii i klimatologii* [Statistics in meteorology and climatology], Moscow, Russia, 244 p.

Klimat Rossii [The climate of Russia] (2001) In N.V. Kobysheva (ed.), St. Petersburg, 655 p.

Kondratyev, K.Ya. (1954) *Luchistaya energiya Solntsa* [Radiant energy of the Sun], Leningrad, Russia, 600 p.

Mishenina, Y.A., Sevastyanov, V.V. (2018) Prodolzhitel'nost' solnechnogo siyaniya v lesnoj zone Zapadno-Sibirskoj ravniny [Sunshine duration in the forest zone of the West Siberian Plain], *Geograficheskij vestnik*, no. 4(47), pp. 77-89.

Narovlyansky, G.Ya. (1968) *Aviatsionnaya klimatologiya* [Aviation climatology], Leningrad, Russia, 267 p.

Nastavleniye gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam [Instruction to hydrometeorological stations and posts] (1985) Leningrad, Russia, 300 p.

Perevedentsev, J.P., Nikolaev, A.A. (2002) *Klimaticheskie resursy solnechnoj radiatsii i vetra na territorii Srednego Povolzh'ya i vozmozhnosti ih ispol'zovaniya v energetike* [Climatic resources of solar radiation and wind in the middle Volga region and the possibility of their use in the energy sector], Kazan', Russia, 122 p.

Perevedentsev, J.P., Sokolov, V.V., Naumov, E.P. (2013) *Klimat i okruzhayushchaya sreda Privolzhskogo federal'nogo okruga* [Climate and environment of the Volga Federal District], Kazan', Russia, 274 p.

Perevedentsev, J.P., Sherstukov, B.G., Naumov, E.P., Vereshchagin, M.A., Shantalinsky, K.M. (2008) *Klimaticheskie usloviya i resursy Respubliki Tatarstan* [Climatic conditions and resources of the Republic of Tatarstan], Kazan', Russia, 288 p.

Radiatsionnyy rezhim territorii SSSR [Radiation regime of the USSR territory] (1961) In Ye.P. Barashkova (ed.), Leningrad, Russia, 528 p.

Поступила в редакцию (Received): 10.09.2024.

Доработана после рецензирования (Revised): 26.11.2024.

Принята к публикации (Accepted): 13.12.2024.

Для цитирования / For citation:

Сабирова, М.В. (2025) Продолжительности солнечного сияния в Приволжском федеральном округе: оценка состояния и трендов, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 11, № 1, с. 134-151, doi:10.21513/2410-8758-2025-1-134-151.

Sabirova, M.V. (2025) Duration of sunshine in the Volga Federal District: an assessment of status and trends, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 11, no. 1, pp. 134-151, doi:10.21513/2410-8758-2025-1-134-151.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ

Полное библиографическое описание всех статей журнала представлено в Научной электронной библиотеке **elibrary.ru** с целью формирования Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Журнал входит в **ПЕРЕЧЕНЬ ВАК** рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Все публикуемые статьи рецензируются. В среднем период рассмотрения статей при однократном рецензировании составляет 4 месяца.

Осуществляется анонимное рецензирование одним-двумя рецензентами как из числа членов редколлегии журнала, так и внешними рецензентами. Все публикуемые статьи проходят проверку на плагиат с помощью <https://www.antiplagiat.ru/>, результаты которой документируются и хранятся в архиве.

Редакция журнала «Фундаментальная и прикладная климатология» признает обязательными для соблюдения авторами, рецензентами, членами редколлегии и сотрудниками редакции требования «**Кодекса этики научных публикаций**», разработанного и утвержденного Комитетом по этике научных публикаций, а также заявляет об отсутствии злоупотреблений служебным положением в деятельности редакции.

Публикация в журнале бесплатная.

веб-страница: <https://fa-climatology.ru>.

FUNDAMENTAL AND APPLIED CLIMATOLOGY

Full bibliographic description of all articles published in the journal is presented in the Scientific Electronic Library (elibrary.ru) for the formation of the Russian Science Citation Index (RSCI).

The journal is included into the List of Peer-reviewed Scientific Journals (compiled by Supreme Qualification Council), where basic scientific results of PhD and DSc dissertations must be published.

All papers submitted are peer-reviewed. The average review period for a single review is 4 months.

Anonymous review is carried out by one or two reviewers from among the members of the Editorial Board of the journal, as well as by external reviewers. All published articles are checked for plagiarism using <https://www.antiplagiat.ru/>, the results of which are documented and stored in the archive.

The Editorial Office of "Fundamental and applied climatology" finds it obligatory for authors, reviewers, editorial board members and editorial staff to meet requirements of the "Code of Ethics for Scientific Publications", developed and approved by the Committee on Scientific Publications Ethics as well as declares no conflicts of interest in the activities of the Editorial Board.

Publication in the journal is free of charge.

web-page: <https://fa-climatology.ru>.
