

Федеральная служба  
по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ТРУДЫ  
ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ  
им. А. И. Воейкова

Выпуск

602

*Под редакцией*  
*д-ра физ.-мат. наук В. М. Катцова,*  
*д-ра физ.-мат. наук В. П. Мелешко*

Санкт-Петербург  
2021

---

Адрес: 194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7  
Телефон: (812) 297-43-90  
ФАКС: (812) 297-86-61  
e-mail: [director@main.mgo.rssi.ru](mailto:director@main.mgo.rssi.ru)  
web site: <http://www.voeikovmgo.ru>

*Редакционная коллегия*

Д-р физ.-мат. наук В. М. Катцов, д-р физ.-мат. наук Е. Л. Генихович,  
чл. корр. РАН, д-р физ.-мат. наук С. К. Гулев, канд. физ.-мат. наук А. А. Киселев,  
д-р физ.-мат. наук В. П. Мелешко, канд. физ.-мат. наук Т. В. Павлова,  
канд. физ.-мат. наук Е. В. Розанов,  
д-р техн. наук А. А. Синькевич, канд. физ.-мат. наук А. П. Соколов,  
канд. физ.-мат. наук П. В. Спорышев, канд. физ.-мат. наук Е. Е. Федорович,  
канд. геогр. наук Е. Л. Махоткина (секретарь редколлегии)

В сборнике представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований по актуальным проблемам изменения климата и прогноза погоды, атмосферной диффузии и мониторинга состояния атмосферы, климатологии, дистанционного зондирования атмосферы.

Сборник рассчитан на широкий круг научных работников и инженеров, интересующихся результатами современных исследований в области метеорологии и прикладной геофизики и их практическим использованием.

*В соответствии с решением Президиума высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук по специальностям: 25.00.29 – геофизика, 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология. соответствующих специальностей.*

Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory

*Editorial board*

Dr. V. M. Kattsov, Dr. E. L. Genihovich, Dr. S. K. Gulev,  
Dr. A. A. Kiselev, Dr. V. P. Meleshko,  
Dr. T. V. Pavlova, Dr. E. V. Rozanov, Dr. A. A. Sinkevich, Dr. A. P. Sokolov, Dr. P. V. Sporyshev,  
Dr. E. E. Fedorovich, Dr. E. L. Makhotkina (Editorial board secretary)

The publication deals with the results of theoretical and experimental studies on the present-day problems of changes in climate and weather forecast, atmospheric diffusion and atmospheric air condition monitoring, climatology, remote sounding of the atmosphere.

The publication is meant for a wide circle of specialists interested in the results of meteorological science development and their practical application.

It is recommended for post-graduates and students in their third or fourth year of respective speciality.

© Федеральное государственное бюджетное  
учреждение «Главная геофизическая обсерватория  
им. А. И. Воейкова»,  
2021

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ю. П. Михайловский, А. А. Синькевич, А. М. Абшаев, М. Л. Торопова.</i> О методах воздействия на электрические процессы в облаках. ....	6
<i>М. Л. Торопова.</i> Параметры конвективных облаков при переходе в грозовую стадию по данным трехмерного численного моделирования.....	23
<i>В. Н. Морозов.</i> Математическая модель грозового генератора на основе современных механизмов облачной электризации для включения в модель токовой цепи. ....	42
<i>В. А. Коршунов, Д. С. Зубачев.</i> Параметры перистых облаков по данным лидарных измерений в Обнинске. ....	68
<i>А. Г. Шилин.</i> Исследование эффективности автономных пиротехнических генераторов льдообразующего аэрозоля в различных условиях. ....	79
<i>А. Г. Шилин, Б. М. Хучунаев, А. Х. Будаев.</i> Влияние растворимых соединений йода на эффективность льдообразующего аэрозоля. ....	92
<i>Л. Т. Созаева, М. М. Жабоева.</i> Оценка влияния деформации капель на определение интенсивности осадков радиолокационным методом. ....	104
<i>С. Л. Алита, Н. А. Борисов.</i> Анализ схемы расположения пунктов воздействия в Краснодарской противогодовой службе. ....	116
<i>К. Б. Лиев., С. А. Куцев.</i> Анализ экономической эффективности противогодовых работ в Российской Федерации. ....	124
<i>Г. Б. Пигольцина, В. В. Стадник, В. А. Задворных, Д. В. Фасолько.</i> Влияние наблюдаемых изменений климата на сельскохозяйственную отрасль экономики (на примере Псковской, Смоленской и Брянской областей). ....	134

Андрей Александрович Синькевич (к 70-летию со дня рождения). .....	166
Памяти Игоря Леонидовича Кароля. ....	169
<i>А. А. Киселев. Непричесанные воспоминания.</i> .....	171

## CONTENTS

<i>Mikhailovskii Yu. P., Sinkevich A. A., Abshaev A. M., Toropova M. L.</i> On methods of influencing electrical processes in clouds. ....	6
<i>Toropova M. L.</i> Parameters of convective clouds during the transition to the thunderstorm stage according to the data of three-dimensional numerical simulation. ....	23
<i>Morozov V. N.</i> A mathematical model of a lightning generator based on modern mechanisms of cloud electrification and its inclusion in the current circuit model. ....	42
<i>Korshunov V. A., Zubachev D. S.</i> Characteristics of cirrus clouds from lidar measurements at Obninsk. ....	68
<i>Shilin A. G.</i> The efficacy of autonomous pyrotechnic generators of ice-forming aerosol under various conditions. ....	79
<i>Shilin A. G., Khuchunaev B. M., Budaev A. Kh.</i> Influence of soluble iodine compounds on the efficiency of ice-forming aerosol. ....	92
<i>Sozaeva L. T., Zhaboeva M. M.</i> Evaluation of the effect of drop deformation of precipitation intensity with help of radar method. ....	104
<i>Alita S. L., Borisova N. A.</i> Analysis of the scheme of impact points in the Krasnodar anti-hail service. ....	116
<i>Liev K. B., Kushchev S. A.</i> Analysis of economic efficiency of anti-hail work in the Russian Federation. ....	124
<i>Pigoltsina G. B., Stadnik V. V., Zadvornyykh V. A., Fasolko D. V.</i> The impact of observed climate change on the agricultural sector of the economy (the case of Pskov, Smolensk and Bryansk regions). ....	134
Andrey A. Sinkevich. ....	166
In memory Igor L. Karol. ....	169
<i>Kiselev A. A.</i> Informal memories. ....	171

УДК 551.58

**ВЛИЯНИЕ НАБЛЮДАЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА  
НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННУЮ ОТРАСЛЬ ЭКОНОМИКИ  
(НА ПРИМЕРЕ ПСКОВСКОЙ, СМОЛЕНСКОЙ  
И БРЯНСКОЙ ОБЛАСТЕЙ)**

*Г. Б. Пигольцина, В. В. Стадник, В. А. Задворных, Д. В. Фасолько*

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова»,  
194021 Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7

Voeikov Main Geophysical Observatory  
194021 St. Petersburg, Karbysheva str., 7

E-mail: pigoltsina@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.11.2021  
Поступила после доработки 20.12.2021

**Введение**

Высокая уязвимость сельскохозяйственной отрасли и особенно растениеводства к изменениям климата обусловлена повышенной чувствительностью сельскохозяйственных культур к условиям среды. Климат существенно влияет на формирование урожая сельскохозяйственных культур, определяя средний уровень урожайности, ее межгодовую изменчивость, а также пространственную структуру сельскохозяйственного производства.

В условиях интенсивно меняющегося климата важнейшим условием устойчивого развития сельскохозяйственной отрасли и в первую очередь зернопроизводства, является адаптация к наблюдаемым и ожидаемым климатическим изменениям, при этом стратегия адаптивной интенсификации сельского хозяйства должна быть упреждающей (Адаптация..., 2015; Биоклиматический..., 2008). Отсутствие своевременных мер по адаптации сельскохозяйственной отрасли к изменению климата влечет за собой не только угрозу увеличения материальных потерь, но и риски снижения

конкурентоспособности агропромышленного комплекса России и обеспечения продовольственной безопасности страны.

Для определения первоочередных мер адаптации необходимо получение количественных оценок изменения климатического воздействия на агроклиматические ресурсы конкретных территорий (Катцов, Порфирьев, 2017). В Оценочном докладе (Второй оценочный..., 2014) отмечается, что одним из важнейших направлений адаптации сельского хозяйства России к климатическим изменениям в XXI веке является развитие аграрного сектора экономики Нечерноземной зоны, в первую очередь Центрального и Северо-Западного, куда входят рассматриваемые в данной статье Псковская, Смоленская и Брянская области.

В представленной работе для указанных областей, граничащих с Республикой Беларусь, выполнена оценка современных агроклиматических ресурсов и представлен анализ изменения основных агроклиматических показателей тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур к середине и концу текущего столетия.

### **Структура сельскохозяйственной отрасли Псковской, Смоленской и Брянской областей**

В сельскохозяйственной отрасли сектором, наиболее уязвимым к изменениям климата, является растениеводство. В Псковской, Смоленской и Брянской областях растениеводство представлено выращиванием зерновых и кормовых культур, льна, картофеля, овощей, фруктовых и ягодных культур.

Земельные угодья, систематически используемые для получения сельскохозяйственной продукции, называются сельскохозяйственными угодьями. К ним относятся пашня, залежь, многолетние насаждения, сенокосы и пастбища. Пашня — сельскохозяйственное угодье, систематически обрабатываемое и используемое под посевы сельскохозяйственных культур, включая посевы многолетних трав, а также чистые пары. Посевные площади — часть пашни, занятая под посевы сельскохозяйственных культур.

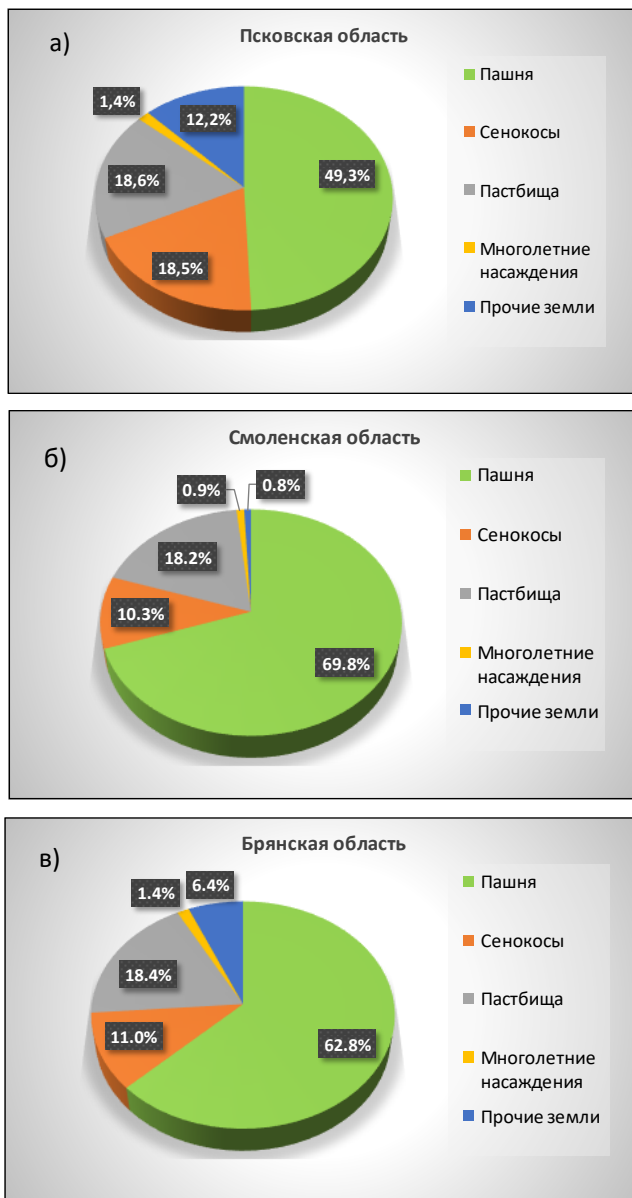


Рис. 1. Структура сельскохозяйственных угодий Псковской (а), Смоленской (б), Брянской (в) областей в хозяйствах всех категорий, %



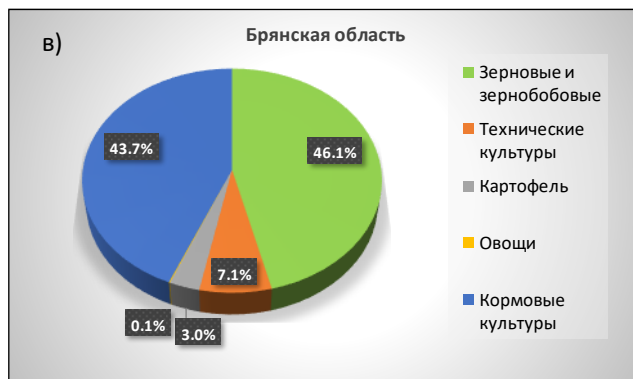
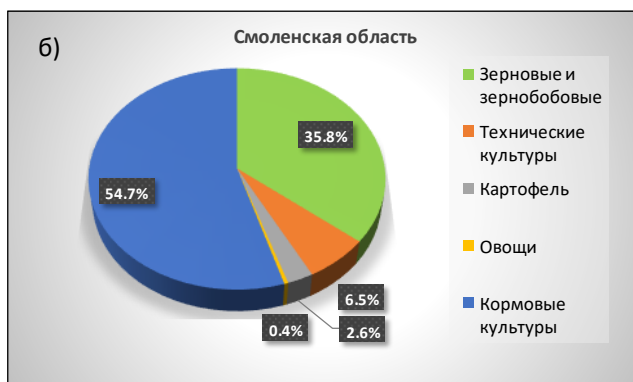
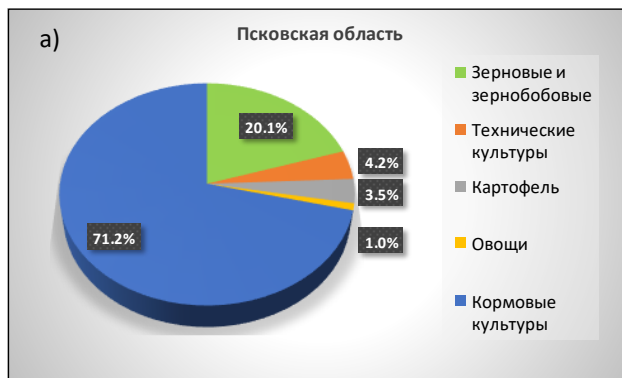


Рис. 2. Структура посевных площадей по видам сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий Псковской (а), Смоленской (б), Брянской (в) областей, %

Сельскохозяйственные угодья по состоянию на 2020 г. занимают в Псковской области — 27,3, в Смоленской — 42,1, в Брянской — 53,8 % территории (Псковская..., 2021 г.; Смоленская..., 2021 г.; Брянская..., 2021 г.). В их структуре основную долю занимают пашни, далее следуют пастбища и сенокосы (рис. 1). Доля земель, отведенных под пашни, наибольшая в Смоленской области — 69,8 %. В Брянской области доля пашни несколько меньше и составляет 62,8, а в Псковской области — всего 49,3 % сельхозугодий.

Структура посевных площадей по видам выращиваемых сельскохозяйственных культур для Псковской, Смоленской и Брянской областей представлена на рис. 2. Данные приведены для хозяйств всех категорий в процентах от всей посевной площади (информация по состоянию на 2020 г.). В Псковской и Смоленской областях большую часть посевных площадей занимают кормовые культуры, соответственно, 71 и 54,7 %, доля зерновых и зернобобовых культур составляет в Псковской области 20,1, в Смоленской — 35,8 %. В Брянской области, напротив, большая часть посевных площадей (46,1 %) выделена под посевы зерновых и зернобобовых, а площадь кормовых культур составляет 43,7 %.

В целом доли посевных площадей зерновых культур в пределах рассматриваемых областей распределяются в соответствии с природно-климатическим потенциалом территории, который возрастает по мере продвижения с севера на юг — от Псковской к Брянской области.

### **Специализированные климатические характеристики, используемые в сельскохозяйственной отрасли**

Потребность сельскохозяйственных культур в благоприятных для их роста условиях за весь период вегетации или за отдельные его отрезки количественно оценивается через агроклиматические показатели (Селянинов, 1928; Синицина, 1973; Шашко, 1985; Пигольцина, 2005, 2007; Павлова, 2020).

Под агроклиматическими показателями понимают количественные характеристики климатических условий, оказывающих существенное влияние на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных

культур и определяющих обеспеченность растений главным образом теплом и влагой. В условиях достаточной влагообеспеченности растения максимально используют солнечное тепло и накапливают наибольшее количество биомассы. При недостатке влаги использование тепла ограничивается и тем больше, чем меньше влагообеспеченность, что приводит к снижению продуктивности.

Одним из основных факторов, необходимых для произрастания любой культуры, является тепло. В сельскохозяйственном производстве информация о термических (тепловых) ресурсах вегетационного периода растений используется для определения сроков сева и созревания, оптимизации сортового и видового состава возделываемых сельскохозяйственных культур, уточнения условий перезимовки и оценки вероятности повреждения растений высокими и низкими температурами и т. д.

В качестве основных показателей теплообеспеченности используются следующие агроклиматические показатели: сумма активных температур вегетационного сезона за период с температурой выше 5 и 10 °С, продолжительность вегетационного сезона за период с температурой выше 5, 10 °С (сут), даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 5 и 10 °С весной и осенью, средняя температура самого теплого и самого холодного месяца (°С), продолжительность безморозного периода (дни).

В условиях неполивного земледелия, т. е. при богарном земледелии, развитие и формирование урожая обеспечивается влагой за счет атмосферных осадков. Показателем обеспеченности влагой вегетационного периода в целом или его отдельных частей служит сумма осадков (мм) за эти периоды, а также относительный показатель увлажнения, который чаще всего представляет собой отношение осадков к испаряемости. Наиболее широкое применение получили два показателя увлажнения — гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (ГТК) (Селянинов, 1928) и показатель увлажнения Д. И. Шашко (Md) (Шашко, 1985).

Агроклиматические условия теплого периода года наиболее полно характеризует гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова, который включает в себя одновременно температуру и осадки:

$$\text{ГТК} = \Sigma P / 0,1 \Sigma T,$$

где  $\Sigma P$  — сумма атмосферных осадков (мм) за период вегетации культуры (или за отдельные его части),  $\Sigma T$  — сумма температур ( $^{\circ}\text{C}$ ) за тот же период.

Увлажнение территории зависит от количества выпадающих осадков и термического режима: чем выше температура, тем больше испарение выпавших на подстилающую поверхность осадков. Исследованиями установлено, что знаменатель в формуле  $(0,1 \Sigma T)$  приближенно равен испаряемости, поэтому ГТК в агроклиматологии используется как показатель атмосферного увлажнения.

ГТК, рассчитанный за реальный период вегетации определенных сельскохозяйственных культур, учитывает количество тепла и влаги за этот конкретный период. Исходя из этого, при оценке климатических и агроклиматических условий для современного (базового) периода и их изменений на середину и конец XXI столетия целесообразно воспользоваться гидротермическим коэффициентом Г. Т. Селянинова.

Прогнозные данные по температуре и количеству осадков в данной работе получены в результате расчетов по ансамблю моделей (Катцов и др., 2020).

### **Характеристика современного климата и агроклиматических ресурсов Псковской, Смоленской и Брянской областей**

Псковская область расположена на северо-западе Европейской части Российской Федерации. Рельеф области, несмотря на преобладание равнинного характера территории, характеризуется значительным разнообразием с абсолютными отметками 30–300 м над уровнем моря. Наиболее пониженная местность с высотами 30–50 м расположена на северо-западе области, возвышенные участки рельефа с высотами 200–300 м находятся на юго-востоке области. В почвенном покрове преобладают подзолистые и дерново-подзолистые почвы разного механического состава от легких песчаных до тяжелосуглинистых и глинистых.

Смоленская область расположена на западе Европейской части Российской Федерации в центральной части Русской равнины. Большая часть территории (ее центральная и восточная части) — возвышенная с абсолютными высотами более 240 м. Западная часть области представляет собой обширную низменность с преобладающими высотами 150—200 м. В почвенном покрове доминируют дерново-подзолистые почвы. По механическому составу наиболее распространены почвы тяжелого механического состава, в основном среднесуглинистые.

Брянская область расположена в западной части Русской равнины. Территория области представляет собой слабоволнистую равнину с высотой местности над уровнем моря от 125 до 290 м. Почвенный покров отличается большим разнообразием и имеет все переходы от сильноподзолистых песчаных до оподзоленных черноземов.

Климат всех трех областей в целом умеренно-континентальный. В этом регионе преобладает западный перенос атлантических воздушных масс атмосферы, который обуславливает мягкость зимы при значительной облачности, летом часто бывают грозы, а зимой нередки оттепели. Континентальные горячие и сухие массы воздуха приносят засушливую погоду летом. Вторжения арктических воздушных потоков приводит к возврату холодов весной, поздним весенним заморозкам.

Режим осадков во всех трех областях обуславливается интенсивной циклонической деятельностью, характерной для данного региона. Распространение атмосферных осадков по территории неравномерное, так как даже небольшие возвышенности вызывают перераспределение осадков по территории — увеличение их на наветренных возвышенных участках и уменьшение на подветренных склонах и в понижениях за возвышенностями. Также уменьшение осадков происходит вблизи крупных водоемов.

Для характеристики современных климатических условий территории областей использовались данные наблюдений 11 метеорологических станций (рис. 3) за тридцатилетний период 1981–2010 гг. На рис. 3 представлена картосхема станций, на которой цифрами (1–11) обозначены номера станций, приведенных в табл. 1.



Рис. 3. Схема расположения метеостанций.  
1–11 – номера метеостанций из табл. 1.

Таблица 1

**Информация о метеорологических станциях,  
используемых в расчетах**

Индекс ВМО	№ на рис. 1	Станция	Область	Широта, градусы	Долгота, градусы	Высота, м
26157	1	Гдов	Псковская	58,73	27,83	39
26258	2	Псков	Псковская	57,8	28,3	43
26359	3	Пушкинские Горы	Псковская	57,02	28,9	108
26477	4	Великие Луки	Псковская	56,35	30,62	97
26578	5	Велиж	Смоленская	55,6	31,2	165
26695	6	Вязьма	Смоленская	55,2	34,4	257
26781	7	Смоленск	Смоленская	54,75	32,07	236
26882	8	Рославль	Смоленская	53,93	32,83	219
26898	9	Брянск	Брянская	53,25	34,32	214
26976	10	Красная Гора	Брянская	53,02	31,6	147
26997	11	Трубчевск	Брянская	52,58	33,77	177

Географическое положение Псковской области и характер циркуляции атмосферы определяют некоторые черты морского климата: влажное, умеренно теплое лето, сравнительно мягкая продолжительная зима и неустойчивый режим погоды.

Средняя годовая температура воздуха изменяется по территории области незначительно — всего на 0,2 °С от +5,6 до +5,8 °С (табл. 2). Средняя температура самого холодного месяца, февраля, составляет –5,6 °С...–6,0 °С. В июле (самом теплом месяце) средняя температура варьирует по территории от 17,9 до 18,3 °С. В целом, в течение года наибольшие пространственные различия средних месячных температур приходятся на апрель и май и составляют соответственно 1,2–1,3 °С, наименьшие различия отмечаются в августе (0,2 °С). Годовая амплитуда среднемесячных температур составляет 23,5–24,0 °С.

Таблица 2

## Среднемесячная и годовая температура воздуха (°С) за период 1981–2010 гг.

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Гдов	-5,2	-5,9	-1,6	5,1	11,2	15,2	17,9	16,4	11,3	6,2	0,2	-3,6	5,6
Псков	-5,1	-5,7	-1,0	6,1	12,2	15,8	18,3	16,5	11,1	5,8	0,0	-3,8	5,8
Пушкинские Горы	-5,3	-5,6	-0,7	6,3	12,3	15,6	17,9	16,4	11,0	5,9	-0,2	-4,1	5,8
Великие Луки	-5,5	-6,0	-0,9	6,2	12,5	15,9	18,0	16,3	11,0	5,8	-0,2	-4,3	5,7
Велиж	-6,0	-6,2	-1,4	6,3	12,4	15,6	17,5	16,0	10,7	5,3	-0,9	-4,9	5,4
Вязьма	-7,0	-7,3	-2,2	5,8	12,2	15,6	17,6	16,1	10,5	4,8	-1,7	-5,9	4,9
Смоленск	-6,2	-6,4	-1,4	6,3	12,5	15,8	17,8	16,3	10,9	5,3	-0,9	-5,1	5,4
Рославль	-6,0	-6,2	-1,2	6,7	13,0	16,3	18,3	16,8	11,3	5,7	-0,7	-4,9	5,8
Брянск	-6,0	-6,1	-0,8	7,2	13,7	17,1	18,9	17,5	11,9	6,1	-0,7	-4,9	6,2
Красная Гора	-5,0	-5,0	0,0	7,7	14,0	17,1	19,0	17,8	12,3	6,6	0,3	-3,8	6,7
Трубчевск	-5,8	-5,9	-0,6	7,5	13,9	17,1	18,9	17,5	12,0	6,2	-0,3	-4,6	6,3



Таблица 3

## Средние месячные и годовые суммы осадков (мм) за период 1981–2010 гг.

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Гдов	39	30	33	28	46	77	74	89	66	65	53	45	646
Псков	47	36	35	33	55	92	76	93	67	62	54	48	700
Пушкинские Горы	52	40	40	35	54	89	77	83	69	63	54	51	707
Великие Луки	39	32	33	32	51	84	78	80	67	56	44	42	639
Велиж	46	39	38	34	59	81	83	79	68	64	56	49	695
Вязьма	45	36	32	40	59	86	91	74	68	58	54	51	694
Смоленск	48	42	42	38	61	87	90	85	70	66	58	51	738
Рославль	40	35	34	30	54	81	84	79	64	60	51	44	656
Брянск	46	41	38	43	57	80	87	69	63	56	53	50	683
Красная Гора	38	35	36	37	60	81	83	71	61	59	50	43	654
Трубчевск	40	36	34	38	53	75	79	60	60	53	48	43	619

В Псковской области по данным рассматриваемых станций годовое количество осадков изменяется по территории на 68 мм в соответствии с местоположением станций. Наименее увлажненными являются низменности в северо-западной части области, прилегающие к Чудскому и Псковскому озерам (метеостанции Гдов и Псков), где выпадает в год 646 и 700 мм осадков соответственно (табл. 3). Наибольшее количество осадков (707 мм) наблюдается на станции Пушкинские Горы, расположенной на возвышенности. Меньше всего осадков отмечается на станции Великие Луки (639 мм), расположенной в понижении рельефа с подветренной к влагонесущим потокам стороны возвышенности.

В годовом ходе минимум осадков в Псковской области приходится на апрель (рис. 4). Максимальное количество осадков отмечается в северной части области в августе, в южной части — в июне. Месячные суммы осадков варьируют от 3 мм в сентябре до 15 мм в июле.

Распределение сумм осадков, рассчитанных по календарным сезонам, представлено на рис. 5. Больше всего осадков выпадает в летний, меньше всего — в весенний сезон. Средняя по территории области сумма осадков составляет в зимний сезон 126, весенний — 119, летний — 248, осенний — 180 мм. Характер распределения осадков по территории во все сезоны схож с годовым, однако диапазон пространственной изменчивости сезонных сумм осадков значительно превышает диапазон по отдельным месяцам и составляет для зимы 30 мм, весны и лета — 21 мм, осени — 19 мм.

Климат Смоленской области характеризуется умеренно теплым летом, умеренно холодной зимой и хорошо выраженными переходными сезонами. Самый теплый месяц — июль, самый холодный — февраль (табл. 2). Средняя температура июля на территории области находится в интервале от 17,5 °С до 18,3 °С, средняя температура февраля от (-6,2 °С) до (-7,3 °С). Изменчивость температуры воздуха по территории области во все месяцы не превышает 1,1 °С. Среднегодовые температуры колеблются по территории от +4,9 °С до +5,8 °С, годовая амплитуда среднемесячных температур от 23,8 °С до 24,9 °С.

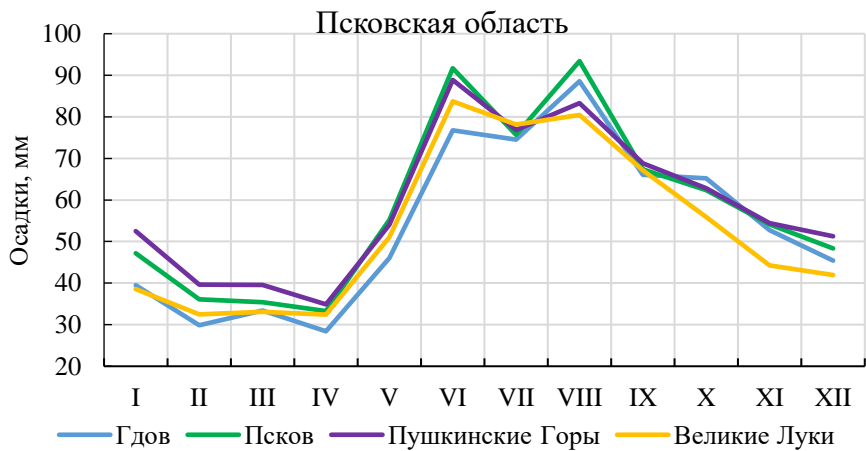


Рис.4. Годовой ход среднего месячного количества осадков на метеостанциях Псковской области, мм

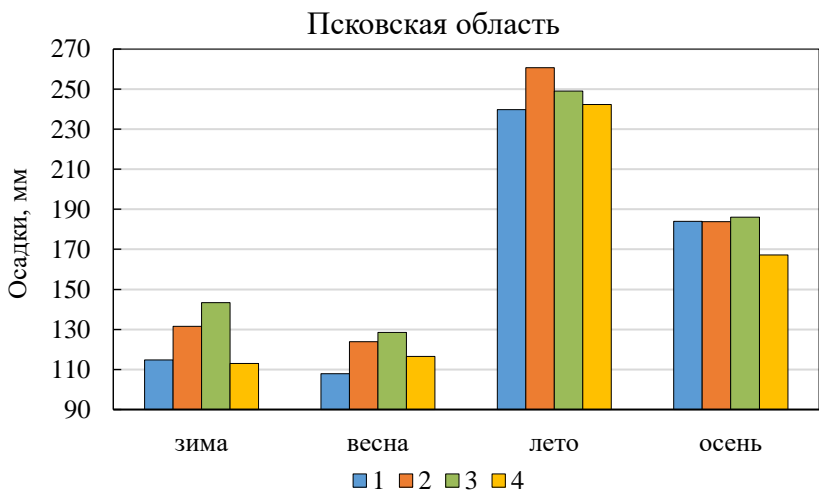


Рис. 5. Суммы осадков за сезоны на метеостанциях Псковской области, мм.

1 — Гдов, 2 — Псков, 3 — Пушкинские Горы, 4 — Великие Луки.

Годовое количество осадков в Смоленской области по данным рассматриваемых станций (табл. 3) составляет 656–738 мм, изменение по территории соответственно составляет 82 мм. Большая часть осадков (67–69 %) выпадает в теплый период года с апреля по октябрь (рис. 6). Наибольшая месячная сумма осадков (в среднем по области) приходится на июль и составляет 87 мм. Немного меньше осадков выпадает в июне (84 мм) и августе (79 мм). Самыми сухими месяцами являются апрель (35 мм), март (36 мм) и февраль (38 мм).

Распределение сумм осадков, рассчитанных по календарным сезонам года, представлено на рис. 7. Максимальное количество осадков выпадает в летний сезон, минимальное — в весенний и зимний сезоны. Осенние осадки меньше летних примерно на 26 %. В среднем по территории области суммы осадков имеют следующие значения за сезоны: зима — 132, весна — 130, лето — 250, осень — 184 мм. Пространственная изменчивость средних сезонных сумм осадков в Смоленской области несколько меньше, чем в Псковской области, и составляет по сезонам соответственно 23, 22, 18 и 19 мм.

Климатические условия Брянской области отличаются теплым летом и умеренно холодной зимой. Средняя годовая температура колеблется по территории от +6,2 °С до +6,7 °С (табл. 2). Самым теплым месяцем является июль (18,9–19,0 °С).

Средние месячные температуры января и февраля различаются незначительно (0,1 °С и менее) и варьируют по территории от (–5,0 °С) до (–6,1 °С). Изменчивость температуры воздуха по территории области во все месяцы не превышает 1,1 °С. Особенно равномерно распределена температура в июне и июле, когда ее пространственная изменчивость составляет не более 0,1 °С. Годовая амплитуда среднемесячных температур изменяется по территории на 1,1 °С (от 23,8 до 24,9 °С).

Осадков в Брянской области в среднем за год выпадает от 619 до 683 мм (табл. 3), пространственная изменчивость соответственно составляет 64 мм. Самыми влажными месяцами являются июль и июнь (рис. 8). В июле осадков выпадает от 79 до 87 мм, в июне — от 75 до 81 мм. Меньше всего осадков наблюдается в марте (34–38 мм) и феврале (35–41 мм).

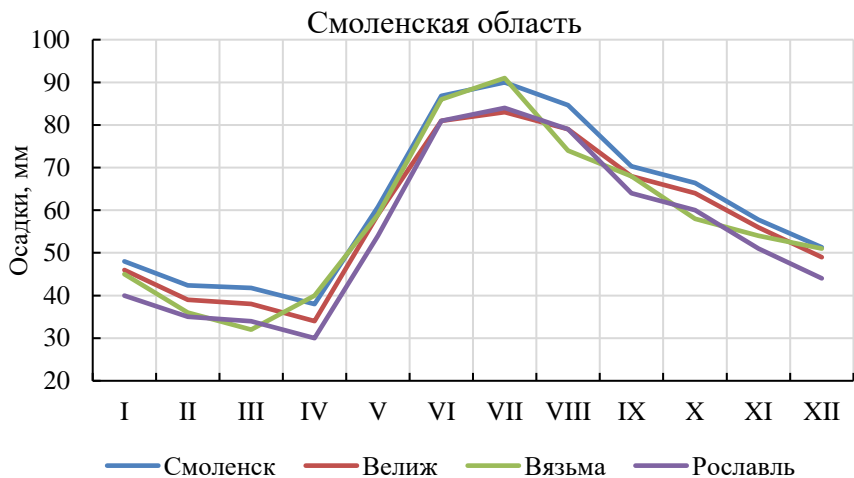


Рис. 6. Годовой ход среднего месячного количества осадков на метеостанциях Смоленской области, мм

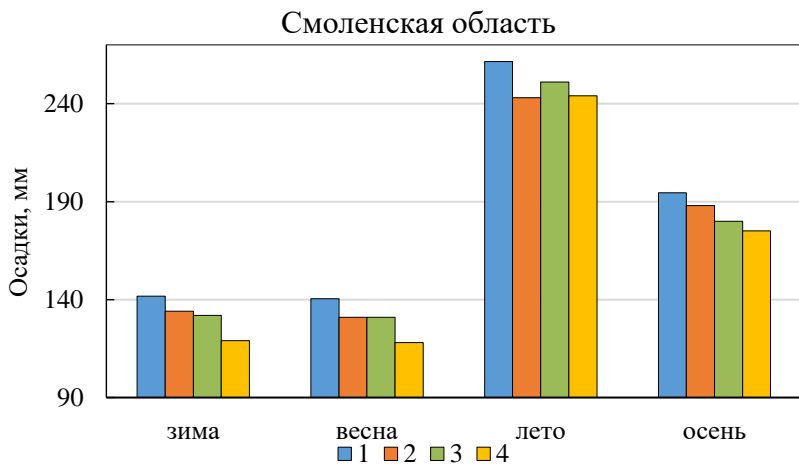


Рис. 7. Суммы осадков за сезоны на метеостанциях Смоленской области, мм.

1 — Смоленск, 2 — Велиж, 3 — Вязьма, 4 — Рославль

Распределение осадков по сезонам года показано на рис. 9. Характер распределения осадков по сезонам в Брянской области аналогичен распределению в Смоленской области: самым влажным периодом является летний, самым сухим — зимний сезон. Осенью осадков выпадает примерно на 26 % меньше, чем в летний сезон. Средняя по области сумма осадков составляет в зимний сезон 124, весенний — 132, летний — 228, осенний — 168 мм. Изменение по территории средних сезонных сумм осадков составляет по сезонам соответственно 23, 22, 18 и 19 мм.

В целом по региону пространственная изменчивость средних месячных температур воздуха представлена на рис. 10. Больше всего средняя месячная температура изменяется по территории в мае, меньше всего — в июле. Различия между наибольшими и наименьшими значениями средних месячных температур варьируют в течение года от 1,4 °С до 2,7 °С.

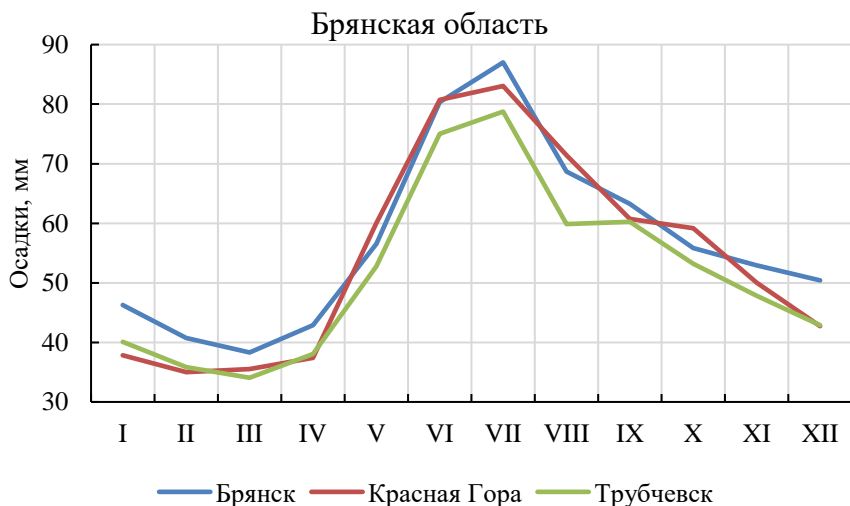


Рис. 8. Годовой ход среднего месячного количества осадков на метеостанциях Брянской области, мм.

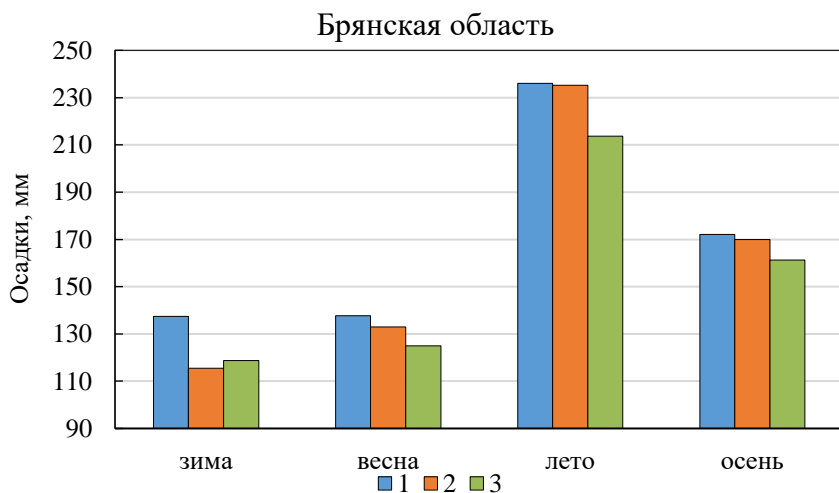


Рис. 9. Суммы осадков за сезоны на метеостанциях Брянской области, мм.  
1 — Брянск, 2 — Красная Гора, 3 — Трубчевск

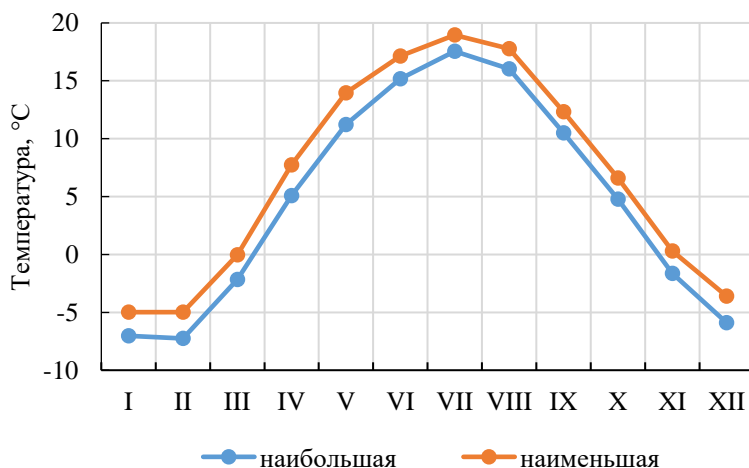


Рис. 10. Наибольшие и наименьшие значения температуры воздуха (°C) в целом по территории Псковской, Смоленской, Брянской областей

Среднее по областям количество осадков в разные сезоны года приведено на рис. 11. В летний и осенний периоды самой сухой (и самой теплой) является Брянская область.

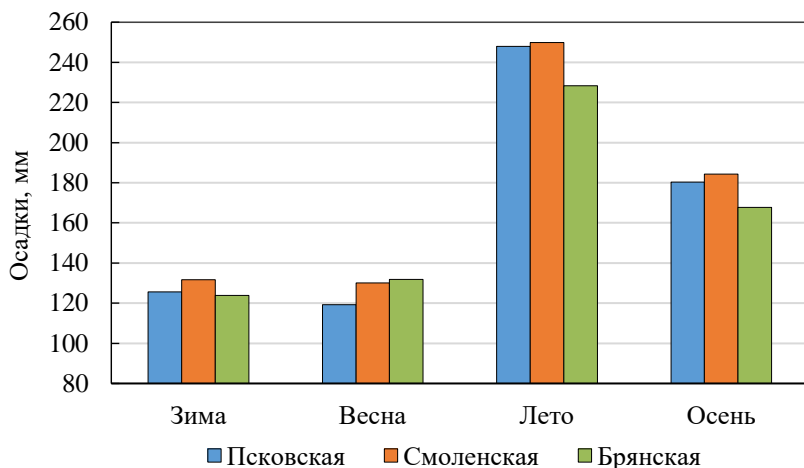


Рис. 11. Средние по областям суммы осадков за сезоны, мм

Агроклиматические ресурсы территории характеризуются комплексом агроклиматических показателей, определяющих условия тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода. В качестве основного агроклиматического показателя, определяющего ресурсы тепла и потребность в них сельскохозяйственных культур, принята сумма средних суточных температур воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$ , поскольку она характеризует период активной вегетации большинства растений. От продолжительности этого периода и обеспеченности его теплом зависят темпы роста и развития сельскохозяйственных культур. Чем длиннее вегетационный период, тем более позднеспелые и, следовательно, более урожайные сорта и культуры можно возделывать. Основные яровые зерновые культуры, выращиваемые на территории рассматриваемых областей — овёс, ячмень и пшеница. Биологический минимум температуры начала роста этих культур составляет  $5^{\circ}\text{C}$ , массовые всходы появляются в конце апреля – начале



мая (Агроклиматические ресурсы Псковской..., 1972; Агроклиматические ресурсы Смоленской..., 1970; Агроклиматические ресурсы Брянской..., 1972). Продолжительность вегетационного периода овса и пшеницы в зависимости от сортовых особенностей составляет 85–120 дней, а ячменя — в среднем 85–90 дней. Таким образом вегетационный период ранних яровых зерновых культур составляет примерно 3–4 месяца. Для раннеспелых сортов в среднем это будет соответствовать периоду май-июль, для позднеспелых сортов — май-август. Поэтому в данной работе для характеристики агроклиматических ресурсов возделывания яровых зерновых культур гидротермический коэффициент (ГТК) был рассчитан не только за период активной вегетации (с температурой выше 10 °С), но и за указанные периоды вегетации ранних яровых зерновых культур.

Гидротермический коэффициент, равный 2,0 и более, характеризует условия избыточного увлажнения: при ГТК, равном 1,3–1,5, условия увлажнения хорошие; при ГТК менее 1,0 — засушливые, при ГТК, равном 0,5 и менее, условия увлажнения сухие, при которых необходимо орошение при возделывании культурных растений (Синицина и др., 1973; Мищенко, 2009).

В целом по территории рассматриваемого региона пространственная изменчивость периода с температурой выше 5 °С составляет 22 дня (от 184 до 206), выше 10 °С — 25 дней (от 136 до 161) (табл. 4). Продолжительность безморозного периода изменяется на 31 день: от 135 дней на станции Вязьма до 166 дней на станции Брянск.

Теплообеспеченность вегетационного периода, выраженная в суммах активных (среднесуточных) температур воздуха выше 5-и и 10-и °С, изменяется соответственно на 442 °С (2387–2829 °С) и 411 °С (2015–2426 °С), в основном увеличиваясь с севера на юг.

Изменение по территории дат устойчивого перехода температуры воздуха через 5°С весной составляет 13 дней (с 6 по 19 апреля), осенью 15 дней (с 12 по 27 октября). Даты устойчивого перехода температуры через 10 °С весной варьируют по территории от 24 апреля до 8 мая (изменение 14 дней), осенью — от 15 сентября по 1 октября (изменение 16 дней).

Таблица 4

**Даты перехода температуры воздуха через 5 и 10 °С весной и осенью, продолжительность соответствующих периодов и суммы температур за эти периоды, продолжительность безморозного периода (б/п)**

Станция	Даты перехода через				Продолжительность периода (дни)			Суммы температур °С	
	5 °С		10 °С		выше		б/п	выше	
	весна	осень	весна	осень	5°С	10°С		5°С	10°С
Гдов	19 IV	26 X	08 V	26 IX	191	142	144	2455	2015
Псков	14 IV	23 X	02 V	24 IX	194	146	147	2539	2121
Пушкинские Горы	12 IV	20 X	02 V	24 IX	193	147	157	2524	2099
Великие Луки	13 IV	20 X	30 IV	23 IX	192	148	139	2528	2123
Смоленск	12 IV	18 X	29 IV	23 IX	189	148	149	2511	2109
Велиж	09 IV	15 X	30 IV	16 IX	189	139	140	2434	2058
Вязьма	11 IV	12 X	02 V	15 IX	184	136	135	2387	2027
Рославль	08 IV	17 X	28 IV	19 IX	192	144	149	2571	2208
Брянск	09 IV	19 X	26 IV	28 IX	194	155	166	2736	2363
Красная Гора	06 IV	27 X	24 IV	01 X	206	161	149	2829	2426
Трубчевск	06 IV	24 X	26 IV	29 IX	202	158	160	2785	2389

Гидротермический коэффициент (ГТК) за период май–июль и за период с температурой воздуха выше 10°C изменяется по территории региона от 1,4 до 1,7; за период май–август — от 1,3 до 1,7. В пределах отдельных областей самыми низкими значениями ГТК за период май–август, а значит и относительной сухостью, отличается южная территория рассматриваемого региона (Брянская область), ГТК здесь составляет 1,3–1,4. В целом влагообеспеченность указанных вегетационных периодов достаточная для получения хороших урожаев сельскохозяйственных культур во всех трех областях.

Тепловые условия для выращивания сельскохозяйственных культур являются хорошими, если обеспеченность их теплом составляет 80 % и более (Синицина, 1973; Мищенко, 2009). Яровой ячмень и овес, как раннеспелых, так и позднеспелых сортов, обеспечены термическими ресурсами на 100 % на всей территории региона. Также полностью обеспечена теплом яровая пшеница мягкая раннеспелых и среднеспелых сортов. Позднеспелые сорта этой культуры обеспечены теплом на 90–100 %. Яровая пшеница твердая культивируется только в Смоленской и Брянской областях, в Псковской области термических ресурсов для выращивания твёрдых сортов пшеницы недостаточно. В самой тёплой Брянской области потребности в тепле даже позднеспелых сортов обеспечены на 100 %, в Смоленской области — на 90–96 %.

В Смоленской и Брянской областях также выращивается кукуруза. Однако кукуруза, как теплолюбивая культура, на протяжении всего вегетационного периода (с температурой выше 10°C) требует более высоких температур, чем другие зерновые культуры. На рассматриваемой территории лимитирующим фактором возделывания кукурузы на зерно является тепло. Термических ресурсов в Брянской области ежегодно хватает для достижения молочной спелости раннеспелых сортов, восковой спелости они достигают в 80–100 % лет. В Смоленской области из-за недостатка тепла кукуруза выращивается только на зелёный корм и силос.

## **Прогноз изменений климатических и агроклиматических условий Псковской, Смоленской и Брянской областей к середине и концу текущего столетия**

В основу анализа изменений климатических и агроклиматических условий на территории Псковской, Смоленской и Брянской областей к середине и концу текущего столетия положена технология вероятностного сценарного прогнозирования регионального климата (Катцов и др., 2020), базирующаяся на проведении массовых ансамблевых расчетов с использованием высокоразрешающей системы моделей и реализованная для указанной территории применительно к сценарию антропогенного воздействия МГЭИК RCP8.5 (van Vuuren et al., 2011). Изменения климатических показателей к 2050–2059 гг. и 2090–2099 гг. (прогнозные периоды) рассчитывались по отношению к 1990–1999 гг. (базовый период).

По сравнению с базовым периодом значительные изменения ожидаются в температуре центрального месяца зимнего сезона — январе. В среднем по всем областям температура января повысится к середине столетия на 4,0 °С, к концу столетия — на 8,6 °С. Увеличение температуры ( $\Delta t$ , °С) изменяется по территории в небольших пределах — на 0,5–0,6 °С. На рис. 12 показано изменение температуры воздуха в январе от 1995 г. к 2055 и 2095 году для трех метеостанций (Псков, Смоленск, Брянск), расположенных примерно в центральных частях областей и соответствующих областным центрам в рассматриваемом регионе. График показывает, что во второй половине столетия средние месячные значения температуры в январе станут положительными и температура к 2095 году в среднем увеличится почти в 2 раза по сравнению с 1995 годом.

Температура середины лета (июля) также увеличится, но не столь значительно, как температура января. В среднем по территории рост температуры в июле составит 2,3 °С и 4,1 °С, соответственно к середине и концу века. Временной ход температуры июля для трех метеостанций приведен на рис. 13.

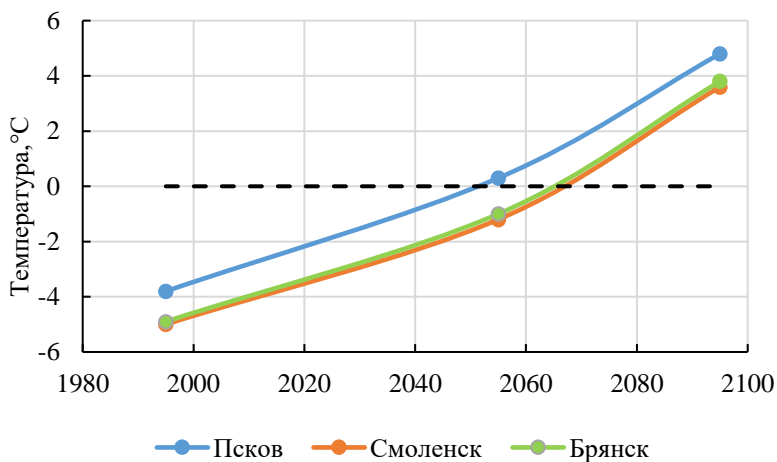


Рис. 12. Динамика изменения средних температур января (°C) от базового периода до 2090–2099 гг. на разных метеостанциях

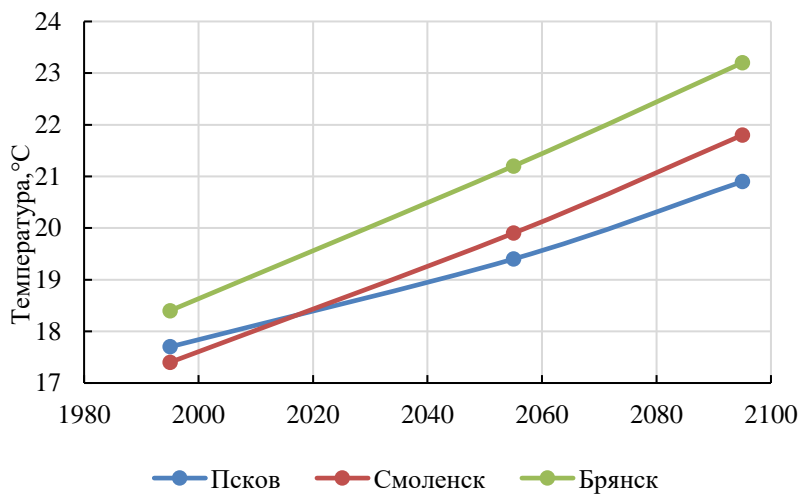


Рис. 13. Динамика изменения средних температур июля (°C) от базового периода до 2090–2099 гг. на разных метеостанциях

Количество осадков в целом за год увеличится к середине и концу века по сравнению с базовыми условиями на территории всех областей. Годовые суммы осадков к 2095 г. увеличатся в Пскове на 137, в Смоленске — на 91 и в Брянске — на 71 мм (рис. 14). Наибольшие изменения осадков ожидаются в более северных районах, т. е. в Псковской области.

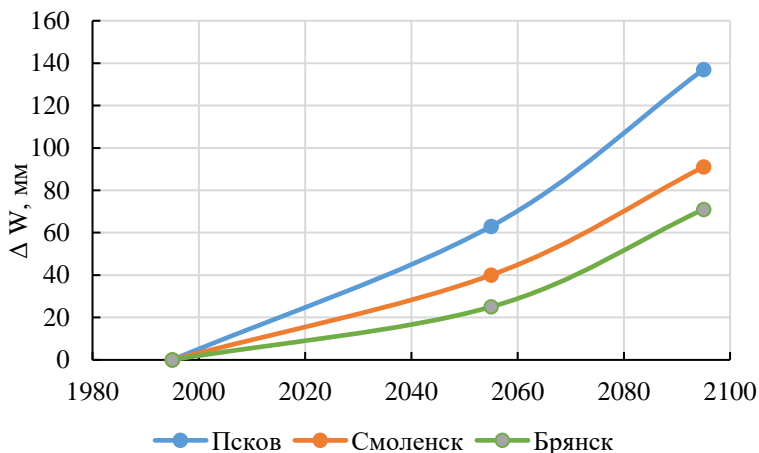


Рис. 14. Изменение годовой суммы осадков ( $\Delta W$ , мм) в 2050–2059 гг. и 2090–2099 гг. по отношению к базовому периоду на разных метеостанциях

Тенденция изменения сезонных сумм осадков во все сезоны, кроме летнего, аналогична рассмотренной для годового количества осадков. В летний сезон в северных районах (Псковская область) также ожидается увеличение осадков, хотя и совсем небольшое (максимум 10 мм). Южнее, в Смоленской и Брянской областях, прогнозируется уменьшение осадков за летний сезон к 2090–2099 гг. на 10–24 мм. Распределение количества осадков по сезонам в базовый и прогнозные периоды представлено на рис. 15 для метеостанций Псков, Смоленск, Брянск.

Даты устойчивого перехода температуры воздуха через 5 и 10 °C сдвинутся весной в сторону более ранних дат к середине столетия в среднем по региону на 7 дней, к концу столетия – на 17 дней, т. е. вегетационный период начнется раньше.

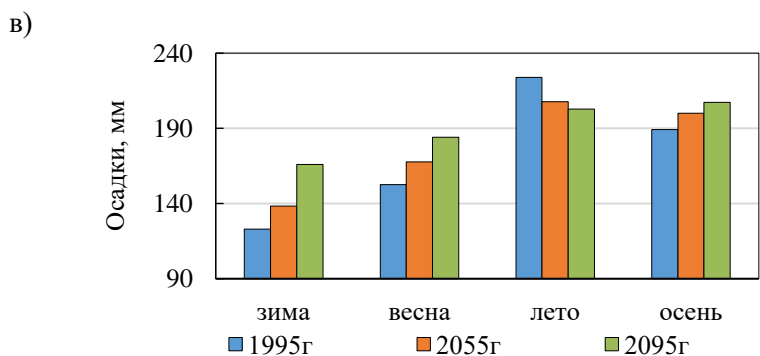
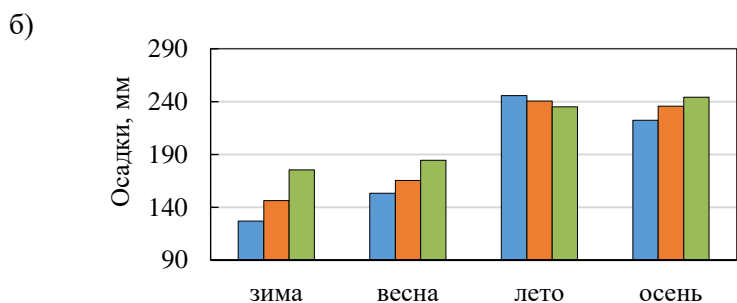
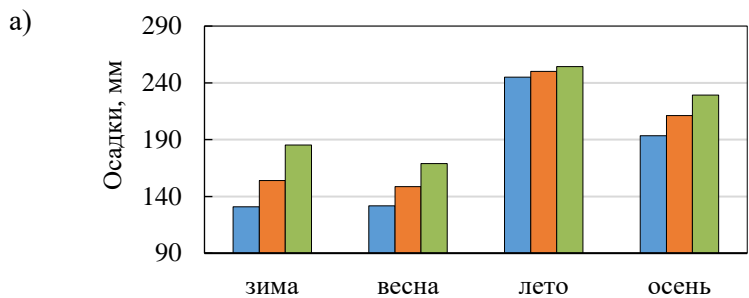


Рис. 15. Суммы осадков за сезон в базовый (1990–1999 гг.) и прогнозные периоды (2050–2059 и 2090–2099 гг.): а — Псков, б — Смоленск, в — Брянск.

Осенью ожидается сдвиг в сторону более поздних дат — вегетационный период будет заканчиваться позже. Переход температуры через 5 и 10 °С осенью сдвинется к середине века на 10 дней, к концу века — на 22 и 19 дней соответственно.

В соответствии с изменением дат перехода температуры через указанные уровни продолжительность вегетационного периода с температурой воздуха выше 10 °С увеличится в среднем по региону к середине века на 17 дней (диапазон изменений по территории 7 дней), к концу века — на 33 дня (диапазон 9 дней). На севере (в Псковской области) рост будет более значительным, чем в южных районах (рис. 16), причем в Смоленской и Брянской областях изменения периодов с температурой выше 10 °С близки по значениям (практически совпадают). Аналогичным образом изменится продолжительность периода с температурой воздуха выше 5 °С, увеличение которого в среднем по региону составит к середине XXI века 19 дней (диапазон 3 дня), к концу века — 39 дней (диапазон 4 дня).

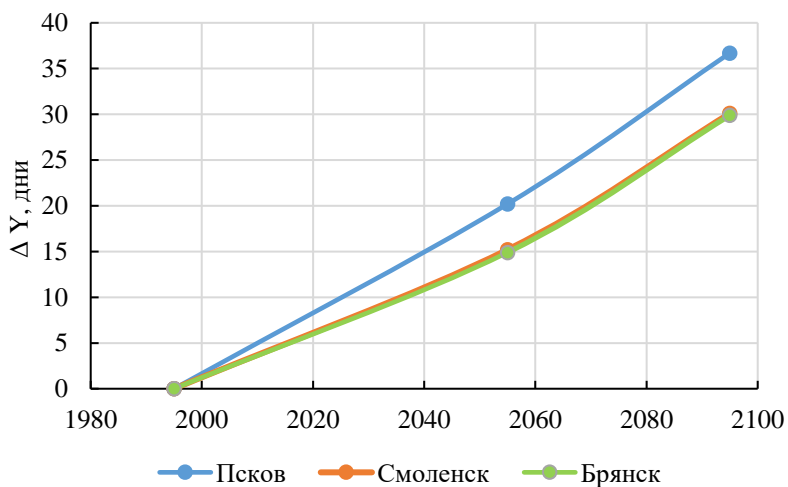


Рис. 16. Изменение продолжительности периода ( $\Delta Y$ , дни) с температурой воздуха выше 10 °С в 2050–2059 гг. и 2090–2099 гг. по отношению к базовому периоду на разных метеостанциях



Продолжительность безморозного периода к середине и концу текущего столетия увеличится по сравнению с базовым периодом на всей рассматриваемой территории. В среднем по всем областям безморозный период возрастет к середине века на 19 дней, к концу века — на 35 дней. Диапазон изменения по территории составит соответственно 11 и 17 дней. В северных районах (Псковская область) увеличение безморозного периода будет более значительным, чем в южных (рис. 17).

Суммы активных температур за период с температурой воздуха выше 10°C к середине XXI века возрастут по сравнению с базовым периодом в среднем по территории на 480 °C (диапазон изменений по территории 88°C), к концу века — на 918 °C (диапазон 161 °C). Больше всего суммы температур увеличатся в Брянской области (рис. 18). Аналогичные изменения сумм температур за период с температурой воздуха выше 5 °C составят к середине и концу столетия соответственно 489°C (диапазон 105 °C) и 945 °C (диапазон 220 °C).

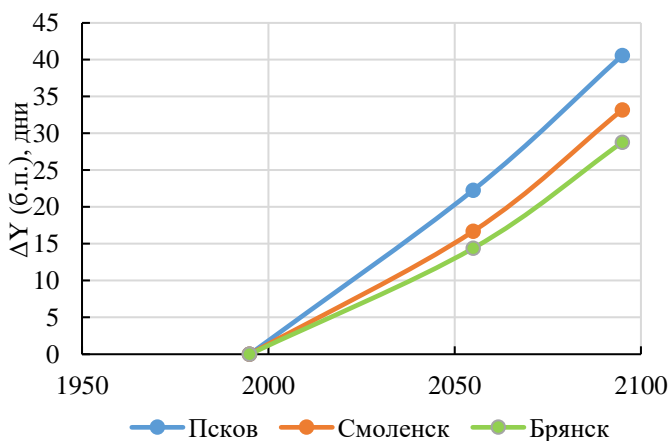


Рис. 17. Изменение продолжительности безморозного периода ( $\Delta Y$  (б. п.), дни) в 2050–2059 гг. и 2090–2099 гг. по отношению к базовому периоду на разных метеостанциях

Гидротермический коэффициент (ГТК), характеризующий условия влагообеспеченности сельскохозяйственных культур, за период вегетации май–июль уменьшится в пределах региона к середине века на 0,1–0,2; к концу века — на 0,2–0,3. Изменение ГТК за период май–август к середине столетия понизится в основном на 0,1; к концу столетия — на 0,1–0,2. За период вегетации с температурой выше 10 °С в Смоленской и Брянской областях ГТК практически не изменится до конца XXI века, максимальная величина уменьшения ГТК по территории не превышает значения 0,06. В то же время в Псковской области ожидается некоторое увеличение ГТК (на 0,05–0,15).

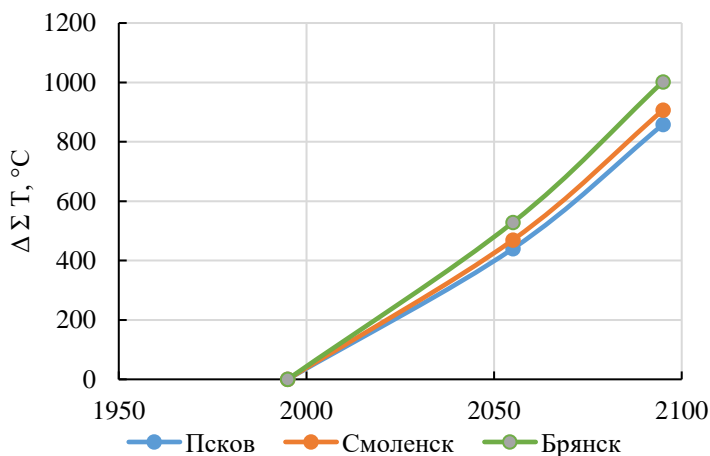


Рис. 18. Изменение сумм температур ( $\Delta \Sigma T, ^\circ\text{C}$ ) за период с температурой воздуха выше 10 °С в 2050–2059 гг. и 2090–2099 гг. по отношению к базовому периоду на разных метеостанциях

### **Рекомендации по адаптации сельскохозяйственной отрасли экономики к наблюдаемым и ожидаемым климатическим изменениям на территории Псковской, Смоленской и Брянской областей**

Для обеспечения стабильной высокой продуктивности сельскохозяйственных культур в условиях глобального потепления

необходим комплексный подход к адаптации, который включает следующие важнейшие направления (Биоклиматический..., 2008; Павлова и др., 2020):

- адаптация к росту теплообеспеченности и продолжительности вегетационного периода сельскохозяйственных культур;
- адаптация к изменению условий перезимовки сельскохозяйственных культур;
- адаптация к изменению условий увлажнения территории.

Выполненные в данной работе оценки показали, что на территории Псковской, Смоленской и Брянской областей к середине и концу текущего столетия ожидается значительное увеличение тепловых ресурсов при малых изменениях условий увлажнения. Поскольку рассматриваемый регион находится в зоне достаточного увлажнения, то адаптационные меры должны быть направлены в первую очередь на оптимальное использование дополнительных ресурсов тепла.

Конкретные меры адаптации:

- оптимизация соотношения посевов озимых и яровых сельскохозяйственных культур для учета климатических условий осенне-зимнего периода;
- перераспределение структуры посевных площадей с целью использования большей части территории для возделывания теплолюбивых культур (кукурузы на зерно, подсолнечника, сахарной свеклы и др.);
- расширение посевных площадей пожнивных (вторых) сельскохозяйственных культур для использования роста тепловых ресурсов;
- внедрение в практику зернопроизводства видов и сортов сельскохозяйственных культур с более продолжительным периодом вегетации. Это позволит более эффективно использовать ресурсы теплого периода года, так как сорта зерновых культур с удлиненным периодом вегетации в условиях рассматриваемого региона имеют большую урожайность;
- использование дополнительных тепловых ресурсов в весенний сезон для сдвига на более ранний срок сева яровых зерновых культур с относительно коротким периодом вегетации. Это позволит более

эффективно использовать запасы влаги в почве, образовавшиеся в период весеннего снеготаяния, будет способствовать более раннему созреванию яровых культур, что увеличит возможность получения второго урожая. Второй пожнивной культурой при этом могут быть, например, овощные с укороченным периодом вегетации;

— сдвиг сроков сева озимых культур осенью на более поздний срок с тем, чтобы полученный выигрыш во времени использовать для выращивания пожнивных овощных культур с укороченным периодом вегетации.

### **Заключение**

Результаты расчетов изменений агроклиматических показателей к середине и концу текущего столетия показали, что при глобальном потеплении и сопутствующих ему региональных изменениях климата, в Псковской, Смоленской и Брянской областях возможны весьма существенные изменения агроклиматических ресурсов.

Рост теплообеспеченности сельскохозяйственных культур в течение вегетации и повышение средней температуры января и холодного периода года в целом являются благоприятными факторами для развития растениеводства.

Сформулированные меры адаптации, основанные на результатах анализа возможных изменений агроклиматических показателей в XXI веке, будут способствовать повышению продуктивности и стабильности сельского хозяйства региона.

*Работа выполнена в рамках Программы Союзного государства «Развитие системы гидрометеорологической безопасности Союзного государства на 2017–2021 годы» Мероприятие 3 «Развитие системы климатического обслуживания населения и отраслей экономики Российской Федерации и Республики Беларусь».*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агроклиматические ресурсы Брянской области (1972) — Л.: Гидрометеиздат. 91 с.
- Агроклиматические ресурсы Псковской области (1972) — Л.: Гидрометеиздат. 111 с.
- Агроклиматические ресурсы Смоленской области (1970). — Л.: Гидрометеиздат. 152 с.
- Адаптация сельского хозяйства России к глобальным изменениям климата (2015). — URL: <https://oxfam.ru/upload/iblock/f96/f9622b41f48549945438f2292f509d14.pdf> (дата обращения 21.09.2021).
- Биоклиматический потенциал России: меры адаптации в условиях изменяющегося климата (2008) / Под ред. А. В. Гордеева. — М.: Россельхозакадемия. 206 с.
- Брянская область в цифрах. (2021) / Крат. стат. сб. — Брянск: Брянкстат. 188с.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации (2014). – М.: Росгидромет. 1009 с.
- Катцов В.М., Порфирьев Б.Н.* (2017). Адаптация России к изменению климата: концепция национального плана // Труды ГГО. Вып. 586. С.7-20.
- Катцов В.М., Хлебникова Е.И., Школьник И.М., Рудакова Ю.Л.* (2020). Вероятностное сценарное прогнозирование регионального климата как основа разработки адаптационных программ в экономике Российской Федерации // Метеорология и гидрология. № 5. С. 46 – 58.
- Мищенко З.А.* (2009). Агроклиматология / Учебник. — Киев: КНТ. 511с.
- Павлова В. Н., Караченкова А. А., Варчева С. Е.* (2020). Региональный мониторинг агроклиматических условий формирования урожая при изменении климата // Труды ГГО. Вып. 596. С. 55-77.
- Пигольцина Г. Б.* (2007). Агроклиматическое районирование / Национальный атлас России. Т. 2. Природа. Экология. — М.: ПКО «Картография». С. 184.
- Пигольцина Г. Б.* (2005). Агроклиматические ресурсы / В кн.: Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации. — СПб: Гидрометеиздат. С. 32–42, 198–200, 220—235.
- Псковская область в цифрах. (2021) / Краткий статистический сборник — Псков: Псковстат, 148 с.
- Селянинов Г. Т.* (1928). О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. Вып. 20. С. 165—177.
- Синицина Н. И., Гольцберг И. А., Струнников Э. А.* (1973). Агроклиматология. — Л.: Гидрометеиздат. 344 с.

Смоленская область в цифрах. (2021) / Краткий статистический сборник — Смоленск: Смоленскстат. 374с.

*Шашко Д. И.* (1985). Агроклиматические ресурсы СССР. — Л.: Гидрометеиздат. 247 с.

*Van Vuuren D. P., Edmonds J. A., Kainuma M., Riahi K., Thomson A. M., Hibbard K., Hurtt G. C., Kram T., Krey V., Lamarque J.-F., Masui T., Meinshausen M., Nakicenović N., Smith S. J., Rose S.* (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Clim Change* 109:5-31. DOI:10.1007/s10584-011-0148-z.