

Научная статья

УДК 633.34:551.5

DOI: 10.37102/0869-7698\_2022\_223\_03\_14

## Изменение региональных климатических характеристик Среднего Приамурья и их влияние на урожайность сои

Т.Н. Фёдорова ✉, Т.А. Асеева

*Тамара Николаевна Федорова*

младший научный сотрудник

Хабаровский федеральный исследовательский центр ДВО РАН, обособленное подразделение

Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Хабаровск, Россия

[fedorova.t.92@mail.ru](mailto:fedorova.t.92@mail.ru)

<http://orsid.org/0000-0001-7265-4714>

*Татьяна Александровна Асеева*

доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН

Хабаровский федеральный исследовательский центр ДВО РАН, обособленное подразделение

Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Хабаровск, Россия

[aseeva59@mail.ru](mailto:aseeva59@mail.ru)

<http://orsid.org/0000-0001-8471-0891>

**Аннотация.** В статье представлен анализ метеорологических данных за 1960–2020 гг. В связи с потеплением климата происходит усиление флуктуации агрономически важных климатических показателей, таких как рост суммы активных и среднегодовых температур воздуха и увеличение количества осадков. Поэтому важное значение приобретает знание регионального изменения климатических ресурсов. Рассмотрены следующие параметры: среднегодовая температура приземного воздуха, сумма положительных температур воздуха, сумма атмосферных осадков, поступление солнечной радиации на земную поверхность. Для моделирования урожайности сои рассматривались долговременные ряды ее урожайности за 1970–2020 гг. Изменение климатических условий оказывает влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. Увеличение числа осадков и среднегодовой температуры воздуха приводит к росту урожайности сои. В целом изменение агроклиматических условий в Среднем Приамурье на данном этапе изменения региональных климатических параметров благоприятно для возделывания сои.

**Ключевые слова:** климат, потепление, адаптация сельского хозяйства, соя, урожайность

**Для цитирования:** Федорова Т.Н., Асеева Т.А. Изменение региональных климатических характеристик Среднего Приамурья и их влияние на урожайность сои // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 3. С. 138–148. [http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698\\_2022\\_223\\_03\\_14](http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_223_03_14).

Original article

# Changes in regional climatic characteristics of the Middle Amur Region and their impact on soybean yield

T.N. Fedorova, T.A. Aseeva

Tamara N. Fedorova

Senior researcher

Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences «Far Eastern Agricultural Research Institute», Khabarovsk, Russia

[fedorova.t.92@mail.ru](mailto:fedorova.t.92@mail.ru)

<http://orsid.org/0000-0001-7265-4714>

*Tatiana A. Aseeva*

Doctor of Sciences in Agriculture, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences

Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences «Far Eastern Agricultural Research Institute», Khabarovsk, Russia

[aseeva59@mail.ru](mailto:aseeva59@mail.ru)

<http://orsid.org/0000-0001-8471-0891>

**Abstract.** The article presents an analysis of meteorological data for the period since 1960 to 2020. Due to climate warming, there is an increase in fluctuations of agronomically important climatic indicators, such as an increase in the sum of active and average annual air temperatures and an increase in precipitation. Therefore, knowledge of regional changes in climate resources is of great importance. The following parameters were considered: the average annual surface air temperature, the sum of positive air temperatures, the sum of atmospheric precipitation, the influx of solar radiation on the earth's surface. To model soybean yield, long-term soybean yield series for the period 1970-2020 were considered. Changing climatic conditions have an impact on crop yields, an increase in precipitation and average annual air temperature leads to an increase in soybean yields. In general, the change in agro-climatic conditions in the Middle Amur River Region at this stage of change in regional climatic parameters is relatively favorable for soybean cultivation.

**Keywords:** climate, warming, agriculture adaptation, soybeans, yield

**For citation:** Fedorova T.N., Aseeva T.A. Changes in regional climatic characteristics of the Middle Amur Region and their impact on soybean yield. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(3):138–148. (In Russ.). [http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698\\_2022\\_223\\_03\\_14](http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_223_03_14).

## Введение

Большая пространственная неоднородность сельскохозяйственных угодий и типов почв определяет сильную зависимость агросектора от региональных

колебаний и изменений климата. Существует много различных сценариев изменения климата, но все без исключения современные климатические модели дают потепление климата России в XXI в., заметно превышающее среднее глобальное потепление [1]. Есть несколько сценариев климатических изменений для сельского хозяйства: изменение климата приведет к позитивным последствиям; изменение климата приведет к негативным последствиям; климат в ближайшем будущем останется без изменений [2, 3].

Один из прогнозов климатических изменений направлен на изучение роста среднегодовых температур, суммы активных температур и увеличение количества осадков. Наиболее заметный эффект роста температур – это ускорение развития растений и более продолжительный период вегетации, но только до определенной температуры; при дальнейшем ее повышении развитие растений останавливается, и происходит их гибель [4–6]. Существует мнение, что рост температуры на 1 °С приведет к падению производства пшеницы на 6 % [7].

К концу XXI в. на Дальнем Востоке ожидается уменьшение числа дней с заморозками (на 10–15); кроме того, прогнозируется увеличение осадков в летний период и уменьшение до 1 мес. дней со снежным покровом [8].

Влияние осадков на растения может рассматриваться как с положительной, так и с отрицательной стороны в зависимости от продолжительности и интенсивности выпадения осадков [9–11]. Переизбыток влаги в фазу цветения и созревания растений приводит к уменьшению их продуктивности, недостаток влаги приводит к пересыханию пахотного слоя почвы, что отрицательно сказывается на накоплении растениями органических веществ. Помимо прочего, увеличение температуры приземного слоя воздуха может привести к росту количества и видов насекомых-вредителей, патогенов и сорняков из более южных районов. Одно из негативных последствий изменения климата в сельском хозяйстве – сокращение пахотных земель на душу населения. Так, в 1961 г. на одного человека приходилось 0,41 га, в 2015 г. – до 0,25 га, к 2050 г. ожидается сокращение площади до 0,20 га [12].

В условиях изменяющегося климата и возникновения соответствующих угроз и рисков была принята Климатическая доктрина Российской Федерации [13]. В этом документе сформулирована стратегическая цель политики в области климата: обеспечение безопасного и устойчивого развития страны. Условия ведения сельского хозяйства должны соответствовать изменяющемуся климатическому режиму. В 2015 г. ряд ученых, таких как А.Г. Папцов, С.А. Шиловская, А.В. Колесников, разработали план адаптации сельского хозяйства России к глобальным изменениям климата, где подробно рассмотрели вопрос оценки их последствий [14, 15].

Для смягчения возможных рисков необходимо разработать агротехнологии, адаптированные к динамике климатических характеристик, определяющих продукционные процессы сельскохозяйственных культур с учетом трендов изменения климата. Для оптимального роста и развития растений необходимо, чтобы эти характеристики совпадали с потребностями растений в различные периоды онтогенеза.

В связи с потеплением климата происходит усиление флуктуации агрономически важных климатических показателей, таких как рост суммы активных и среднегодовых температур воздуха и увеличение количества осадков. Поэтому важное значение приобретает знание регионального изменения климатических ресурсов.

Цель исследований – изучить изменения средних значений климатических характеристик, обусловленные глобальным изменением климата, и установить их влияние на урожайность сои в Среднем Приамурье.

### **Материалы и методы исследований**

Для изучения влияния изменения климата на сельское хозяйство Хабаровского края были проанализированы метеорологические данные за 1960–2020 гг. Источниками метеоинформации послужили среднесуточные данные с метеопункта опытной станции на территории ДВНИИСХ. В качестве метеопараметров для анализа динамики рассматривалась среднегодовая температура приземного воздуха, сумма положительных температур воздуха, сумма атмосферных осадков, поступление солнечной радиации на земную поверхность. Для моделирования рассматривались долговременные ряды урожайности сои за 1970–2020 гг.

Перед построением регрессионных моделей была произведена предварительная обработка рядов урожайности культур. На первом этапе рассчитывали линейный тренд для культуры, затем определяли общий средний тренд, который в дальнейшем исключался из временного ряда.

Таким образом, нами исключалось влияние тренда, связанного с постоянной селекционной работой. Далее были рассчитаны коэффициенты корреляции и построены уравнения множественной регрессии, определены значимые коэффициенты регрессионных уравнений и установлена значимость регрессионных моделей.

Статистический анализ результатов проводили по методике дисперсионного и корреляционного анализов с использованием стандартных компьютерных программ (Statistica 12.0; Microsoft Office, Excel 365).

### **Результаты и обсуждение**

Реальные изменения региональных климатических параметров и их влияние на урожай сои можно продемонстрировать с помощью анализа данных метеостанции и урожайности сои в селекционных питомниках за длительное время. В ходе наших исследований был продолжен мониторинг изменения температурного режима территории Хабаровского края и сделан его анализ за период с 1960 г. по настоящее время. В качестве метеопараметров для анализа направления и динамики изменения количественных показателей рассматривались среднегодовая температура приземного слоя воздуха, сумма положительных температур воздуха за апрель–октябрь и сумма активных температур (более 10 °С). Наибольшие изменения наблюдались у метеопараметра, характеризующего температурный режим в приземном слое воздуха. Оценка результатов наблюдения за 60-летний период свидетельствует об увеличении суммы положительных температур на 264 градуса. Ранее проведенными наблюдениями [16, 17] было установлено, что увеличение суммы температур приземного слоя воздуха за 1960–2004 гг. составило 211,6 °С.

Более подробный анализ метеорологических параметров с интервалом в 10 лет показывает стабильную тенденцию повышения суммы положительных температур от интервала к интервалу. Так, количество лет с суммой положительных

температур приземного слоя воздуха выше 2900 °С за 1960–1969 гг. отмечено только один раз – в 1966 г., в то время как начиная с 2000 г. минимальное значение суммы положительных температур ежегодно превосходило отметку в 2900 °С (табл. 1). При этом минимальная сумма положительных температур возросла с 2564 до 2908 °С, т.е. на 344 градуса, в то время как максимальные значения увеличились только на 158 °С.

Полученные нами данные совпадают с представленными в докладе Росгидромета в 2020 г., подготовленном Всемирной метеорологической организацией и широкой сетью партнеров, где говорится, что пять лет – с 2015 по 2019 г. и десять лет – с 2010 по 2019 г. стали самыми теплыми за всю историю наблюдений. Начиная с 1980-х годов каждое последующее десятилетие было более теплым, чем любое предыдущее.

Таблица 1

**Показатели суммы положительных температур воздуха**

Годы	Кол-во тепла, °С			
	min	max	Средние значения	Кол-во лет с $\sum > 2900$ °С
1960–1969	2564	2977	2753	1
1970–1979	2724	3109	2861	3
1980–1989	2711	3158	2869	4
1990–1999	2778	3095	2915	5
2000–2009	2900	3151	2980	10
2010–2020	2908	3135	3017	10

До 2000 г. сумма положительных температур воздуха превышала отметку 3000 °С только 5 раз – в 1966, 1975, 1976, 1988 и 1998 гг., тогда как после 2000 г. наблюдается устойчивый переход за отметку 3000 °С; за последние 10 лет средний показатель количества тепла составил 3017,4 °С. Анализ показателей среднесуточной температуры приземного слоя воздуха с апреля по октябрь включительно показал, что в 2003 г. впервые за анализируемый период апрель характеризуется отсутствием отрицательных средних температур воздуха. С 2010 г. для октября характерны преимущественно положительные средние температуры воздуха, максимальное значение суммы положительных температур воздуха (236,2 °С) зафиксировано в 2018 г. Повышение среднесуточных температур воздуха привело к изменению показателя среднегодовых температур воздуха. За рассматриваемый период времени наблюдается устойчивый рост метеопараметра (табл. 2). Если в 1960 г. этот показатель составил 1,1 °С, то в 2020 г. он достиг максимального

Таблица 2

**Динамика среднегодовой температуры воздуха**

Годы	Температура, °С		
	min	max	Средние значения
1960–1969	-0,1	2,5	1,5
1970–1979	1,0	3,3	1,7
1980–1989	1,1	3,5	2,0
1990–1999	1,9	3,6	2,5
2000–2009	2,0	4,3	2,7
2010–2020	2,2	3,9	2,9

значения за анализируемый период – 3,9 °С. При интервальном анализе данного показателя отмечается рост среднегодовой температуры приземного слоя воздуха на 1,4 °С. Наименьшее значение данного показателя зафиксировано в 1969 г. (–0,1 °С), до середины 1980-х годов среднегодовая температура воздуха не превышала отметки 2 °С. Начиная с 2010 г. количественное изменение показателя температуры происходит быстрыми темпами. Так, за последние 10 лет отмечен рост на 1,4 °С в сторону повышения.

Повышение среднегодовых температур приводит к увеличению периода с положительными температурами воздуха. Границы безморозного периода за анализируемый период значительно расширились. Средние даты устойчивого перехода средней суточной температуры через 0 °С в сторону повышения варьируют от 15 апреля до 13 мая. Самая поздняя дата последнего заморозка (13 мая) отмечена в 1989 г., самая ранняя – 15 апреля в 1985 г. (табл. 3).

Таблица 3

**Продолжительность периода с положительными температурами воздуха**

Годы	Дни			Период начала безморозного периода	Период окончания безморозного периода
	min	max	Среднее		
1960–1969	155	204	176	16.04–03.05	05.10–06.11
1970–1979	166	180	174	19.04–08.05	12.10–04.11
1980–1989	156	186	172	15.04–13.05	13.10–23.10
1990–1999	158	191	176	21.04–04.05	08.10–01.11
2000–2009	165	183	175	20.04–10.05	18.10–29.10
2010–2020	166	189	182	19.04–07.05	18.10–08.11

Для полной характеристики метеорологических условий периода 1960–2020 гг. был проанализирован такой метеопараметр, как сумма активных температур. Данный показатель выражен суммой средних температур воздуха периода вегетации, превышающей предел 10 °С. Наблюдается тенденция увеличения температур. Так, за 60 лет метеонаблюдений среднее значение суммы активных температур увеличилось на 218 °С (табл. 4). Минимальное значение (2092 °С) отмечалось в 1969 г., максимальное (2918 °С) – в 2012 г. Начиная с 2000 г. минимальное значение суммы активных температур превысило отметку 2500 °С.

Таблица 4

**Сумма активных температур за период вегетации**

Годы	Температура, °С		
	min	max	Средние значения
1960–1969	2092	2741	2489
1970–1979	2295	2822	2599
1980–1989	2347	2892	2537
1990–1999	2420	2722	2556
2000–2009	2560	2766	2629
2010–2020	2524	2918	2707

Таким образом, анализ количественных изменений показателей среднегодовой температуры приземного слоя воздуха и суммы положительных температур воздуха за теплый период времени свидетельствует об устойчивом росте температурного режима, что подтверждает региональное потепление климата в рамках глобального потепления.

Региональные изменения средних значений климатических характеристик, обусловленные глобальными изменениями климата, сопровождаются нарастанием изменчивости погодных условий. Это особенно касается выпадения осадков. Изменение количества осадков за период с положительными температурами приземного слоя воздуха не имеет четко выраженной тенденции в изменении направления и количественных показателей. Подробный же анализ выпадения осадков в теплое время года свидетельствует о некотором их перераспределении, особенно в последнее десятилетие. Так, минимальное среднемноголетнее их количество выпадало в мае и июне – 60 и 78 мм соответственно. В последние два десятилетия количество осадков в среднем составило 75 и 110 мм, что значительно превышает среднемноголетнее значение.

Следует отметить, что в последнее десятилетие возросла повторяемость экстремальных суточных сумм осадков. Фактически ежегодно их количество и интенсивность выпадения в отдельные месяцы достигали уровня опасного явления, которое приводило к сильному переувлажнению почвенного покрова и гибели посевов. В иные дни суточное количество осадков превышало 60 мм. Максимальное среднемноголетнее количество осадков выпадает в июле и августе – 132 и 151 мм соответственно.

Наблюдения за динамикой среднегодового выпадения осадков показывают, что за весь период исследований минимальное их количество выпало в 2001 г. – 381 мм, максимальное в сумме 1105 мм – в 1981 г. Отмечается уменьшение годового количества осадков, в связи с этим среднемноголетняя норма осадков в регионе снизилась в 2002 г. от 680,3 до 600,8 мм. Самое «сухое» десятилетие было в период 1970–1979 гг., когда в среднем отклонение от нормы составило – 27 мм (табл. 5). Во все остальные десятилетние периоды наблюдений осадков в среднем выпадало больше среднемноголетних значений.

Таблица 5

Динамика суммы осадков

Годы	Сумма осадков, мм			
	min	max	Средние значения	Отклонение от нормы
1960–1969	538	963	713	+33
1970–1979	427	907	653	-27
1980–1989	548	1105	735	+55
1990–1999	498	878	691	+10
2000–2009	381	882	618	+17
2010–2020	667	900	769	+168

В целом за 60 лет наблюдений зафиксировано: три года – с недостаточным увлажнением (1974, 2001 и 2008, когда ГТК варьировал в пределах 1,3–1,5), 11 лет – влажные (ГТК варьировал в пределах 1,6–2,0) и 44 года – избыточно влажные (ГТК изменялся в пределах 2,1–4,0).

Солнечная радиация является важным показателем в жизнедеятельности растений. Качественный состав света принято выражать по содержанию в нем тех лучей, которые оказывают наибольшее физиологическое действие на растения. В спектре солнечных лучей выделяется область фотосинтетически активной радиации (ФАР), используемой растениями в процессе фотосинтеза. Это лучи с длиной волны 380–710 мм. В зависимости от высоты Солнца прямая радиация

содержит от 28 до 43 % ФАР, рассеянная радиация при облачном небе – 50–60 %, рассеянная при голубом небе – до 90 % (в основном за счет синей компоненты).

Анализ динамики поступления солнечной радиации на земную поверхность территории Хабаровского края показывает, что в период с 1960 по 1990 г. поступление суммарного количества солнечной радиации снижалось. Минимальное его количество зафиксировано в 1983 г. – 2088 МДж/м<sup>2</sup>. В последующие годы наблюдается устойчивый рост поступления солнечной радиации на земную поверхность с максимумом в 2014 г. – 2895 МДж/м<sup>2</sup> (табл. 6).

Таблица 6

Динамика поступления солнечной радиации

Годы	Прямая радиация на горизонтальную поверхность, МДж/м <sup>2</sup>		
	min	max	Средние значения
1960–1969	2576	2838	2684
1970–1979	2278	2840	2641
1980–1989	2088	2804	2448
1990–1999	2257	2876	2566
2000–2009	2525	2750	2656
2010–2020	2511	2895	2671

Изменение климатических условий оказывает влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. Так, урожайность сои в 1960–1989 гг. составляла в среднем 1,3 т/га, в 2000–2020 гг. – 2,3–2,7 т/га. Коэффициенты корреляции между рядами значений урожайности сои, а также суммой осадков, активных температур и среднегодовой температуры находились в диапазоне 0,45–0,62. При выполнении алгоритма пошаговой регрессии был удален взаимокоррелирующий предиктор. Оба коэффициента, вошедшие в окончательную модель, оказались значимыми на уровне  $p < 0,05$ . Урожайность сои только в течение последних 20 лет возросла примерно с 2 до 3 т/га. Построенная модель достаточно хорошо отражает этот факт (рис. 1). В модели отсутствуют резкие выбросы, что также косвенно свидетельствует о ее качестве.

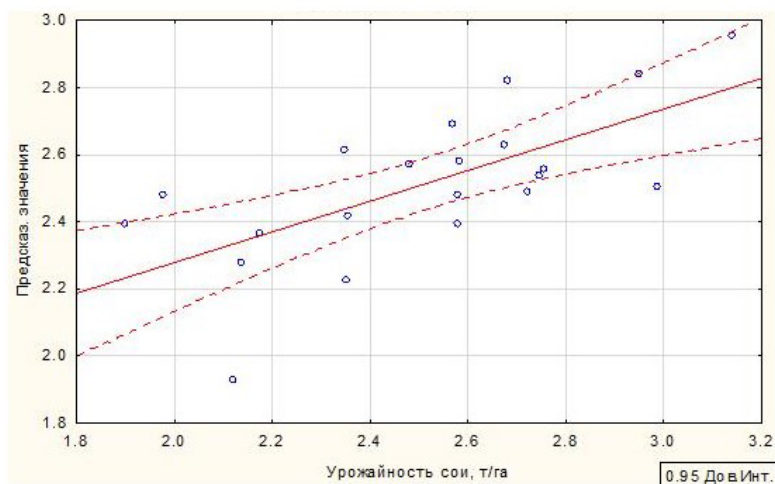


Рис. 1. Сравнение реальных и прогнозируемых значений урожайности сои



Таким образом, увеличение числа осадков и среднегодовой температуры положительно влияет на урожайность сои. Вместе с тем установлено, что вклад обеих независимых переменных в итоговое уравнение регрессии был примерно одинаков (рис. 2).



Рис. 2. Модель динамики урожайности сои в зависимости от изменения климатических показателей

Таким образом, увеличение числа осадков и среднегодовой температуры воздуха приводит к увеличению урожайности сои. При прогнозировании урожайности на ближайшую перспективу возможно использование данного уравнения регрессии.

В целом изменение агроклиматических условий в Среднем Приамурье на данном этапе изменения региональных климатических параметров сравнительно благоприятно для возделывания сои.

## Заключение

Таким образом, по мере изменения региональных климатических параметров усиливается значение адаптационного подхода в отношении подбора приспособленных к местным условиям культур и сортов, а также приемов технологии, способствующих повышению устойчивости культур (сортов) к изменениям внешних условий окружающей среды. Исходя из анализа результатов исследований установили, что на территории Среднего Приамурья наблюдается значительное потепление климата. Наибольшие изменения зафиксированы у метеопараметра, характеризующего температурный режим в приземном слое воздуха. Оценка результатов наблюдения за период с 1960 по 2020 г. свидетельствует об увеличении суммы положительных температур на 264 градуса. Отмечается перераспределение выпадения осадков в теплое время года. Так, количество осадков в мае за последние два десятилетия увеличилось на 25 %, а в июне – на 41 %. Изменение климатических условий оказывает влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. Урожайность сои только в течение последних 20 лет возросла примерно с 2 до 3 т/га. Получены прямые корреляционные связи между

увеличением числа осадков, увеличением среднегодовой температуры воздуха и урожайностью сои.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Жемухов Р.Ш., Машукова Ф.Э. Антропогенное изменение климата и его последствия для сельского хозяйства на региональном уровне // *Успехи соврем. естествознания*. 2016. № 7. С. 118–122.
2. Ашабоков Б.А., Архестов Г.Х., Федченко Л.М., Шаповалов А.В. Изменение климата и устойчивое развитие России // *Метеоспектр*. 2013. № 1. С. 145–149.
3. An economic analysis of agricultural adaptation to climate change impacts in Sri Lanka: An endogenous switching regression analysis / K. Suresh [et al.] // *Land Use Policy*. 2021. Vol. 109. P. 8–9. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105601>.
4. Miller-Rushing A.J., Inouye D.W., Primack R.B. How well do first flowering dates measure plant responses to climate change? The effects of population size and sampling frequency // *Journ. of Ecology*. 2008. Vol. 96. P. 1289–1296. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2008.01436.x>.
5. Путьрский В.Е., Кукушкина А.В. Динамика количественных характеристик экстремальных атмосферных осадков на территории Российской Федерации // *Природообустройство*. 2019. № 3. С. 115–120. DOI:10.34677/1997-6011/2019-3-115-12.
6. Schneider L., Rebetz M., Rasmann S. The effect of climate change on invasive crop pest across biomes // *Current Opinion in Insect Science*. 2022. Vol. 50. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2022.100895>.
7. Comparison of sensitive stages of wheat, barley, canola, chickpea and field pea to temperature and water stress across Australia / M.F. Dreccer [et al.] // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2018. Vol. 248. P. 275–294. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.10.006>.
8. Ксенофонтов М.Ю., Ползиков Д.А. К вопросу о влиянии климатических изменений на развитие сельского хозяйства России в долгосрочной перспективе // *Проблемы прогнозирования*. 2020. № 3. С. 82–91.
9. Ашабоков Б.А., Бисчоков Р.М. Об одном подходе к прогнозированию урожайности с/х культур с учетом изменений агрометеорологических факторов // *Земледелие*. 2007. № 2. С. 98–102.
10. Ермолина О.В. Влияние температуры воздуха и количества осадков по фазам онтогенеза на урожайность семян сои // АПК Юга России: состояние и перспективы: сб. регион. науч.-практ. конф. Майкоп, 2014. С. 143–147.
11. Волкова Е.И. Связь урожайности с тепло-влажнообеспеченностью по фазам развития сельскохозяйственных культур // *Мелиорация переувлажненных земель*. 2016. № 2. С. 85–93.
12. Low input sustainable agriculture: A viable climate-smart option for boosting food production in a warming world / D. Sarkar [et al.] // *Ecological indicators*. 2020. Vol. 115. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106412>.
13. Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (в области компетенции Росгидромета). Санкт-Петербург; Саратов: Амирит, 2020. 120 с.
14. Галкин Д.Г. Стратегия и тактика адаптации сельского хозяйства к последствиям изменения климата: региональный аспект // *Наука и образование Большого Алтая*. 2021. № 14. С. 31–35. DOI: 10.25712/ASTU.2410-485X.2021.01.004.
15. Acero Triana J.S., Chu M.L., Stein J.A. Assessing the impacts of agricultural conservation practices on freshwater biodiversity under changing climate // *Ecological Modelling*. 2021. Vol. 453. P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109604>.
16. Асеева Т.А., Шукюров С.А., Паланица С.Р. Адаптивные агротехнологии возделывания сои в условиях муссонного климата // *Евразийский союз ученых*. 2014. С. 97–100.
17. Асеева Т.А., Кисилев Е.П., Сухомиров Г.И. Сельское хозяйство дальнего Востока: условия, проблемы и потенциал развития. Хабаровск: ИЭИ ДВО РАН, 2020. 162 с.

## REFERENCES

1. Zhemukhov R.Sh., Mashukova F.Eh. Antropogennoe izmenenie klimata i ego posledstviya dlya sel'skogo khozyaistva na regional'nom urovne = [Anthropogenic climate change and its consequences for agriculture at the regional level]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2016;(7):118-122. (In Russ.).

2. Ashabokov B.A., Arkhestov G.KH., Fedchenko L.M., Shapovalov A.V. *Izmenenie klimata i ustoiichivoe razvitiye Rossii* = [Climate change and sustainable development in Russia]. *Meteospekt*. 2013;(1):145-149. (In Russ.).
3. Suresh K. [et al.]. An economic analysis of agricultural adaptation to climate change impacts in Sri Lanka: An endogenous switching regression analysis. *Land Use Policy*. 2021;(109):8-9. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105601>.
4. Miller-Rushing A.J., Inouye D.W., Primack R.B. How well do first flowering dates measure plant responses to climate change? The effects of population size and sampling frequency. *Journal of Ecology*. 2008;(96):1289-1296. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2008.01436.x>.
5. Putyrskii V.E., Kukushkina A.V. Dynamics of quantitative characteristics of extreme precipitation on the territory of the Russian Federation. *Prirodoobustroistvo*. 2019; (3):115-120. DOI:10.34677/1997-6011/2019-3-115-12. (In Russ.).
6. Schneider L., Rebetz M., Rasmann S. The effect of climate change on invasive crop pest across biomes. *Current Opinion in Insect Science*. 2022; (50). <https://doi.org/10.1016/j.cois.2022.100895>.
7. Dreccer M.F. [et al.]. Comparison of sensitive stages of wheat, barley, canola, chickpea and field pea to temperature and water stress across Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2018;(248):275-294. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.10.006>.
8. Ksenofontov M.Yu., Polzikov D.A. K voprosu o vliyaniy klimaticheskikh izmenenii na razvitiye sel'skogo khozyaystva Rossii v dolgosrochnoy perspective = [On the issue of the impact of climate change on the development of Russian agriculture in the long term]. *Problemy prognozirovaniya*. 2020;(3):82-91. (In Russ.).
9. Ashabokov B.A., Bischokov R.M. Ob odnom podkhode k prognozirovaniyu urozhainosti s/kh kul'tur s uchetom izmenenii agrometeorologicheskikh faktorov = [On one approach to predicting the yield of agricultural crops, taking into account changes in agrometeorological factors]. *Zemledelie*. 2007;(2):98-102. (In Russ.).
10. Ermolina O.V. Vliyanie temperatury vozdukh i kolichestva osadkov po fazam ontogeneza na urozhainost' semyan soi = [Influence of air temperature and precipitation by phases of ontogenesis on the yield of soybean seeds]. *APK Yuga Rossii: sostoyanie i perspektivy*: sb. region. nauch.-prakt. konf. Maikop, 2014:143-147. (In Russ.).
11. Volkova E.I. Communication of productivity with thermal and water modes on phases of development of agricultural crops. *Melioratsiya pereuvlazhnennykh zemel'*. 2016;(2):85-93.
12. Sarkar D. [et al.]. Low input sustainable agriculture: A viable climate-smart option for boosting food production in a warming world. *Ecological indicators*. 2020;(115):1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106412>.
13. Report on the scientific and methodological foundations for developing climate change adaptation strategies in the Russian Federation (within the competence of Roshydromet). Sankt-Peterburg; Saratov: Amirit; 2020. 120 p. (In Russ.).
14. Galkin D.G. Strategy and tactics for adapting agriculture to the impact of climate change: regional aspect. *Grand altai research & education*. 2021;(14):31-35. DOI: 10.25712/ASTU.2410-485X.2021.01.004. (In Russ.).
15. Acero Triana J.S., Chu M.L., Stein J.A. Assessing the impacts of agricultural conservation practices on freshwater biodiversity under changing climate. *Ecological Modelling*. 2021;(453):1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109604>.
16. Aseeva T.A., Shukyurov S.A., Palanitsa S.R. Adaptivnye agrotekhnologii vozdeleyvaniya soi v usloviyakh mussonnogo klimata = [Adaptive agricultural technologies for soybean cultivation in monsoon climate]. *Evrasiiskii Soyuz Uchenykh*. 2014:97-100. (In Russ.).
17. Aseeva T.A., Kiselev E.P., Sukhomirov G.I. Agriculture of the Far East: conditions, problems and development potential. Khabarovsk: ERI FEB RAS; 2020. 162 p. (In Russ.).