

Земледелие и мелиорация

УДК 634.25

DOI 10.31857/S2500262725030018 EDN FDIZWD

К СОЗДАНИЮ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ СОРТОВ ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИХ АДАПТИВНОСТИ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ТЕМПЕРАТУРНЫХ СТРЕССОВ

© 2025 г. **И. А. Драгавцева**¹, доктор сельскохозяйственных наук, **И. Ю. Савин**^{2,3}, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, **А. В. Ключкина**¹, **З. П. Ахматова**⁴, кандидат сельскохозяйственных наук, **В. В. Николенко**⁵, кандидат биологических наук

¹Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства и виноделия, 350901, Краснодар, ул. 40-летия Победы, 39

²Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2

³Институт экологии Российского университета дружбы народов, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

⁴Северо-Кавказский институт горного и предгорного садоводства, 360001, Нальчик, ул. Шарданова, 23

⁵Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, 295007, Республика Крым, Симферополь, просп. Академика Вернадского, 4
E-mail: savin_iyu@esoil.ru

Для радикального повышения урожаев плодовых культур необходимы новые знания о защитно-приспособительных реакциях конкретных сортов к лимитам среды их выращивания. Цель исследований – разработка научных подходов к повышению урожаев сортов плодовых культур посредством получения знаний о степени их адаптивности к неблагоприятным температурным условиям зимне-весеннего периода на примере персика в Республике Кабардино-Балкария. Сопоставляли данные многолетних наблюдений о потерях урожаев трех сортов персика с минимальными температурами воздуха за период с 1985 по 2024 г. в Степной, Предгорной и Горностепной зонах садоводства республики. С использованием геоинформационных систем построены пространственно-временные сценарии и прогноз пригодности земель к 2040 г. при сохранении выявленных тенденций. Установлены критические значения минимальных температур сортов персика в фазы покоя (-20...-25 °C), набухания (-15...-20 °C) и распускания (-7...-13 °C) цветковых почек, появления лепестков (-6...-9 °C), цветения (-2...-3,5 °C) и вероятность проявления их губительного действия на урожай. Несмотря на отмечаемые изменения климата в сторону повышения средних температур воздуха, в последние десятилетия в целом на территории республики увеличивается вероятность проявления критических для персика температур воздуха, особенно в горах и предгорьях. Совместный анализ созданных карт пригодности земель для выращивания персика по состоянию на 2024 г. и прогнозных сценариев на 2040 г. позволяет выделить земли, пригодность которых при сохранении существующих трендов не изменится, либо улучшится до приемлемых значений, либо останется низкой и даже ухудшится. Предложенный подход позволяет планировать размещение сортов многолетних плодовых культур с учетом глобальных изменений климата. При этом следует отметить, что в его рамках учитываются только тренды изменения критических температур зимне-весеннего периода на различных высотах местности.

TOWARDS CREATION OF INNOVATIVE TECHNOLOGY FOR OPTIMIZATION OF FRUIT CROP VARIETIES PLACEMENT ON THE BASIS OF ANALYSIS OF THEIR ADAPTABILITY TO THE IMPACT OF TEMPERATURE STRESSES

I. A. Dragavtseva¹, **I. Yu. Savin**^{2,3}, **A. V. Klyukina**¹, **Z. P. Akhmatova**⁴, **V. V. Nikolenko**⁵

¹North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture and Winemaking, 350901, Krasnodar, ul. im. 40-letiya Pobedy, 39

²Federal Research Center "Dokuchaev Soil Science Institute", 119017, Moskva, Pyzhevskii per., 7, str. 2

³Institute of Environmental Engineering of Peoples' Friendship University of Russia, 117198, Moskva, ul. Miklukho-Maklaya, 6

⁴North Caucasus Institute of Mountain and Foothill Horticulture, 360001, Nalchik, ul. Shardanova, 23

⁵Vernadsky Crimean Federal University, 295007, Respublika Krym, Simferopol', prosp. Akademika Vernadskogo, 4
E-mail: savin_iyu@esoil.ru

A radical increase in fruit crop yields requires new knowledge about the protective and adaptive reactions of specific varieties to the limits of their growing environment. The purpose of the research is to develop new scientific approaches to increasing the yields of fruit crop varieties by obtaining new knowledge about the degree of their adaptability to adverse temperature conditions in the winter and spring period, using the example of a peach in the Republic of Kabardino-Balkaria. Data from long-term observations on crop losses of three peach varieties with minimum air temperatures for the period from 1985 to 2024 were compared in the Steppe, Foothill and Mountain gardening zones of the Republic. Using geoinformation systems, spatial and temporal scenarios and a forecast of land suitability by 2040 have been constructed while maintaining the identified trends. The values of critical temperatures of peach

varieties by development phases are established, and the probability of crop losses is estimated on average for two ranges of years: 1985–2000 and 2001–2024, taking into account the cyclical climate. Spatial modeling has shown that despite the observed climate changes in the research area towards an increase in average air temperatures, in recent decades, in general, the likelihood of critical air temperatures in the Republic, especially in the mountains and foothills, has increased. A joint analysis of the created maps of the suitability of land for growing peaches as of 2024 and forecast scenarios of the suitability of land in the region for 2040. It allows us to identify lands whose suitability, while maintaining existing trends, will not change by 2040, either improve to acceptable values, or remain low and even worsen. The proposed approach makes it possible to plan the placement of varieties of perennial fruit crops, taking into account global climate changes. Within the framework of this approach, only trends in changes in critical temperatures of the winter-spring period at various heights of the terrain are taken into account.

Ключевые слова: персик, сорт, продуктивность, климат, фаза развития, адаптивность, размещение сортов, Кабардино-Балкария.

Keywords: peach, varieties, productivity, climate, development phases, adaptability, location, Kabardino-Balkaria.

В 1940 г. П. Г. Шитт и З. А. Метлицкий в книге «Плодоводство» писали: «Каждый растительный организм сталкивается в борьбе за существование с комплексом внешней среды. Чем хуже были внешние условия для развития той или иной формы в процессе эволюции, тем лучше выражена приспособленность этой формы как в построении органов, так и в характере развития» [1]. Следовательно, каждая плодовая культура имеет свой эволюционный путь развития и свой уровень защитно-приспособительных реакций на воздействия среды выращивания, различный в разрезе фаз онтогенеза. В условиях юга России основными абиотическими факторами, определяющими успешное протекание продукционного процесса плодовых культур и сортов, выступают температурный режим зимне-весеннего и летне-осеннего периодов, обеспечивающий комфортное протекание каждой из фаз онтогенеза [2], степень садопригодности почв территорий выращивания; благоприятность орографических условий для возделывания плодовых культур.

Садопригодность земель по почвам и рельефу предопределяет общую возможность возделывания культур [3]. В связи с изменением климата температурные лимиты среды (выше +35 °C) стали также проявляться в летне-осенний период, отрицательно влияя на дифференциацию цветковых почек [4, 5, 6]. Однако урожайность плодовых культур на Северном Кавказе до сих пор зависит преимущественно от низкотемпературных стрессоров зимне-весеннего периода [7, 8].

При наступлении дискомфортных воздействий среды у растений возникают защитно-приспособительные реакции, индивидуальные для каждой фазы развития. Они имеют свои особенности, связанные со степенью адаптивности сортов (пластичностью онтогенеза) [9, 10, 11]. Поэтому их изучение – актуальная задача, решение которой позволит управлять продуктивностью сортов плодовых культур и, следовательно, их урожайностью.

Цель исследования – разработка научного подхода к повышению урожая плодовых культур путем оптимизации размещения насаждений с учетом знаний о степени их адаптивности к неблагоприятным температурным условиям зимне-весеннего периода и климатических трендов.

Методика. В качестве примера для демонстрации нового подхода были выбраны насаждения персика в сложных природных условиях Кабардино-Балкарской Республики (КБР). Объектом исследования служили данные многолетних полевых наблюдений за развитием трех сортов культуры различной морозостойкости: Золотой Юбилей со средней морозостойкостью (селекции Северо-Кавказского ФНАЦ); Нарядный Никитский с пониженной морозостойкостью (селекции Никитского ботанического сада); Надия с повышенной морозостойкостью (селекции НИИ горного и предгорного садоводства).

В качестве переменных параметров среды выращивания использовали минимальные температуры зимне-весеннего периода по двум диапазонам лет: 1985–2000 гг. (до начала четко выделяемого изменения климата) и 2001–2024 гг. (в процессе его современного изменения), критические значения которых для изучаемых сортов зависят от их наследственных особенностей. Исследования проводили в трех основных зонах садоводства республики, для каждой из которых была выбрана представительная метеостанция с ежедневными данными о минимальных температурах воздуха за указанные годы: в степной зоне – метеостанция Прохладное (высота над уровнем моря 208 м, географические координаты 43°45'26" с.ш., 44°01'46" в.д.); в предгорной – метеостанция Налчик (абсолютная высота 512 м, географические координаты 43°29'53.2" с.ш., 43°37'8" в.д.); в горностепной – метеостанция Тырныауз (абсолютная высота 1300 м, географические координаты 43°22'58" с.ш., 42°55'6" в.д.).

Для пространственного моделирования на всей территории республики дополнительно привлекали ежедневные метеорологические данные реанализа (результаты глобального моделирования метеопараметров за период с 1985 по 2024 г.) (NASA Langley Research Center (LaRC), USA) [12].

На первом этапе исследований на основе данных многолетних полевых наблюдений были выявлены критические минимальные температуры воздуха по основным фазам развития (органический и вынужденный покой, вынужденный покой, набухание и распускание цветковых почек, появление лепестков, цветение), лимитирующим размеры урожая персика в районе исследований. Календарные декады наступления фаз развития определяли на основе результатов полевых наблюдений.

Сопоставление критических температур с фактическими данными метеостанций позволило оценить вероятность проявления по годам минимальных температур, губительных для урожая сортов персика и рассчитать среднюю многолетнюю вероятность гибели урожая.

Далее было проведено пространственное моделирования вероятности проявления критических температур для всей территории республики для двух сортов: с пониженной и повышенной морозостойкостью (Нарядный Никитский и Надия соответственно). На основе этих данных в ГИС были построены карты пригодности земель территории исследований по минимальным температурам воздуха для 1985–2000 и 2001–2024 гг., а затем проведено их сравнение между собой для выявления тенденции изменений пригодности.

По ежегодным данным степени пригодности были построены карты ее тренда для изучаемых сортов за период с 1985 по 2024 г. Тренд пригодности оценивали по коэффициенту наклона линии линейного тренда вероятности проявления по годам критических температур за все фазы

зимне-весеннего развития. С учетом карт тренда была сделана попытка пространственно-временной экстраполяции карт пригодности земель до 2040 г. при условии сохранения тенденций, выявленных за период с 1985 по 2024 г.

Выделяли 5 классов пригодности с учетом средней многолетней вероятности проявления критических температур хотя бы в одной из фаз развития. Класс пригодности «0» присваивали при вероятности 0, класс пригодности «1» – при вероятности ниже 0,25, класс пригодности «2» – при вероятности проявления критических температур 0,25...0,50, класс пригодности «3» – при вероятности 0,50...0,75 и класс пригодности «4» – при вероятности проявления критических температур выше 0,75.

Карты пригодности для периода 2001–2024 гг. и карты тренда использовали для построения прогнозных карт пригодности на 2040 г. Их анализ позволяет разработать рекомендации по оптимальному размещению новых насаждений персика на территории исследований с учетом наблюдаемых изменений климата.

Пространственное моделирование и построение цифровых карт выполняли с использованием ГИС ILWISv.3.3 [13, 14].

Результаты и обсуждение. Установленные в результате анализа величины критических температур (табл. 1) мало отличаются от таковых для соседних регионов, так как набор возделываемых сортов персика в них практически одинаков [7].

Табл. 1. Матрица пороговых значений минимальных температур, губительных для сортов персика в разрезе фаз их развития для территории КБР, °C

Месяц и декада проявления	Фаза развития	Сорт		
		Золотой юбилей	Нарядный Никитский	Надия
Январь I (ЯI)	органический	-23	-22	-25
Январь II (ЯII)	и вынужденный покой (оп)	-23	-22	-24
Январь III (ЯIII)	вынужденный	-22	-20	-23
Февраль I (ФI)	покой (вп)	-21	-20	-22
Февраль II (ФII)	набухание	-20	-18	-20
Февраль III (ФIII)	цветковых почек (нцп)	-18	-15	-19
Март I (МI)	распускание	-11	-9	-13
Март II (МII)	цветковых почек (рцп)	-9	-7	-10
Март III (МIII)	появление лепестков (пл)	-8	-6	-9
Апрель I (АI)	цветение (ц)	-3	-2	-3,5

Вероятность наступления лет с температурными стрессами зимне-весеннего периода, приводящими к гибели урожая сортов персика, в большинстве случаев уменьшилась (табл. 2). Так, для сорта Золотой Юбилей в 2001–2024 гг., по сравнению с предыдущим периодом, в Степной зоне она уменьшилась на 0,7 %, в Горностепной – на 12,3 %, а в Предгорной зоне увеличилась на 1,0 %.

Для сорта Нарядный Никитский вероятность гибели урожая от стрессоров зимне-весеннего периода особенно ощутимо уменьшилась в Степной и Предгорной зонах (соответственно на 21,1 и 10,4 %). Для сорта Надия вероятность гибели урожая снизилась в Степной и Горностепной зонах (соответственно на 5,0 и 2,8 %), но немного увеличилась в Предгорной зоне (на 1,0 %).

То есть для всех сортов в Степной и Горностепной зонах вероятность гибели урожая снизилась, и только в Предгорной зоне выявлен разнонаправленный тренд для разных сортов.

В фазе органического покоя ни один из сортов персика на территории исследований не подвергался

Табл. 2. Вероятность проявления губительных для урожая сортов персика низких температур по двум периодам лет (1985–2000 гг., 2001–2024 гг.), %

Сорт	Диапазон лет	
	1985–2000	2001–2024
Метеостанция Прохладное (Степная зона)		
Нарядный Никитский	73,3	52,2
Золотой Юбилей	27,6	26,3
Надия	26,7	21,7
Метеостанция Нальчик (Предгорная зона)		
Нарядный Никитский	80,0	69,6
Золотой Юбилей	60,0	61,0
Надия	60,0	61,0
Метеостанция Тырныауз (Горностепная зона)		
Нарядный Никитский	80,0	78,3
Золотой Юбилей	73,3	61,0
Надия	60,0	57,2

воздействию критических температур воздуха в зимне-весенний период за весь анализируемый период с 1985 по 2024 г. (табл. 3). При этом четко прослеживается нарастание проявлений критических температур от Степной к Предгорной и Горностепной зонам для всех сортов. В фазе цветения для всех изучаемых сортов и зон отмечено проявление критических температур воздуха. В целом реакция исследуемых сортов персика на температурные воздействия зимне-весеннего периода во времени и пространстве подтверждает наличие у растений наследственно адаптивных резервов морозостойкости [2], которые можно и необходимо использовать для радикального повышения урожая в Кабардино-Балкарии.

Результаты пространственного моделирования пригодности земель КБР для возделывания сортов Нарядный Никитский (самый теплолюбивый) и Надия (самый морозостойкий из выборки) для анализируемых диапазонов лет свидетельствуют (рис. 1), что в 2001–2024 гг. по сравнению с 1985–2020 гг. количество земель, пригодных для выращивания сорта Нарядный Никитский, уменьшилось. При этом площадь земель, пригодных без ограничений, сократилась почти в 2 раза.

Для сорта Надия показатели степени пригодности земель также ухудшились, но в гораздо меньшей степени (рис. 2). Следовательно, несмотря на изменения климата в сторону повышения средних температур воздуха [16, 17], в последние десятилетия в целом на территории республики происходит увеличение вероятности про-

Табл. 3. Проявление критических температур для отдельных сортов и метеостанций по фазам развития

Сорт	Метеостанция	Диапазон лет	Фаза развития, месяц и декада									
			оп*		вп		нцп		рцп		пл	
			Я	ЯII	ЯIII	ФI	ФII	ФIII	МI	МII	МIII	АI
Нарядный Никитский	Прохладное	1985–2000	X	**	X	X	X	X	X	X	X	X
		2001–2024	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Нальчик	1985–2000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		2001–2024	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Тырныауз	1985–2000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		2001–2024	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Золотой Юбилей	Прохладное	1985–2000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		2001–2024	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Нальчик	1985–2000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		2001–2024	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Тырныауз	1985–2000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		2001–2024	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Надия	Прохладное	1985–2000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		2001–2024	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Нальчик	1985–2000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		2001–2024	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Тырныауз	1985–2000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		2001–2024	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

*условные обозначения см. в табл. 1.

**X – проявление критических температур.

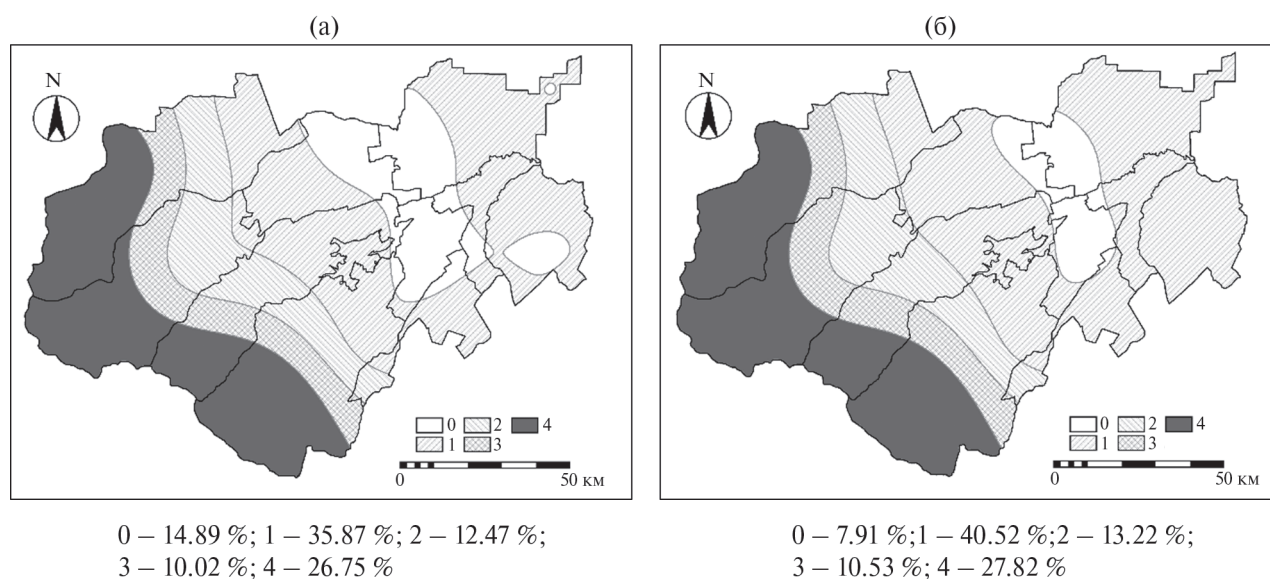


Рис. 1. Пригодность земель КБР для выращивания сорта Нарядный Никитский, % от всей территории: а – 1985–2000 гг.; б – 2001–2024 гг.

явления критических для персика температур. Но локально присутствуют и земли, где такие процессы идут в обратном направлении.

Пространственный анализ тренда вероятности проявления критических для персика температур воздуха показал, что для сорта Нарядный Никитский положительный тренд (рост вероятности повреждения) выявлен на всей равнинной части КБР, а отрицательный (уменьшение вероятности) – в горах. Для сорта Надия выявлен отрицательный тренд для большей части КБР и только на крайнем северо-западе выделен небольшой участок с положительным трендом.

В случае сохранения выявленных трендов на ближайшие годы (до 2040 г.) пригодность земель для анализируемых сортов персика может быть представлена в виде соответствующих пространственных сценариев (рис. 3). Например, для сорта Нарядный Никитский в республике практически не останется территорий без каких-либо ограничений к выращиванию, а для сорта

Надия на их долю будет приходиться более половины территории республики.

Совместный анализ карт пригодности земель по состоянию на 2024 г. и прогнозных сценариев для выращивания персика на 2040 г. позволяет выделить земли, пригодность которых при сохранении существующих трендов не изменится, улучшится до приемлемых значений, останется низкой или ухудшится до низких значений (рис. 4). В качестве перспективных для расширения плантаций персика в разрабатываемых сценариях приняты земли с классами пригодности 0 и 1 (гес на картах рис. 4) и земли, для которых ожидается, что их пригодность улучшится до 0 или 1 класса к 2040 г. (гес и на картах рис. 4).

Предложенный подход позволяет учесть пространственно-временные тренды климатических изменений при планировании размещения новых насаждений персика, а не опираться только на фактическую пригодность на момент посадки плодового сада, как это

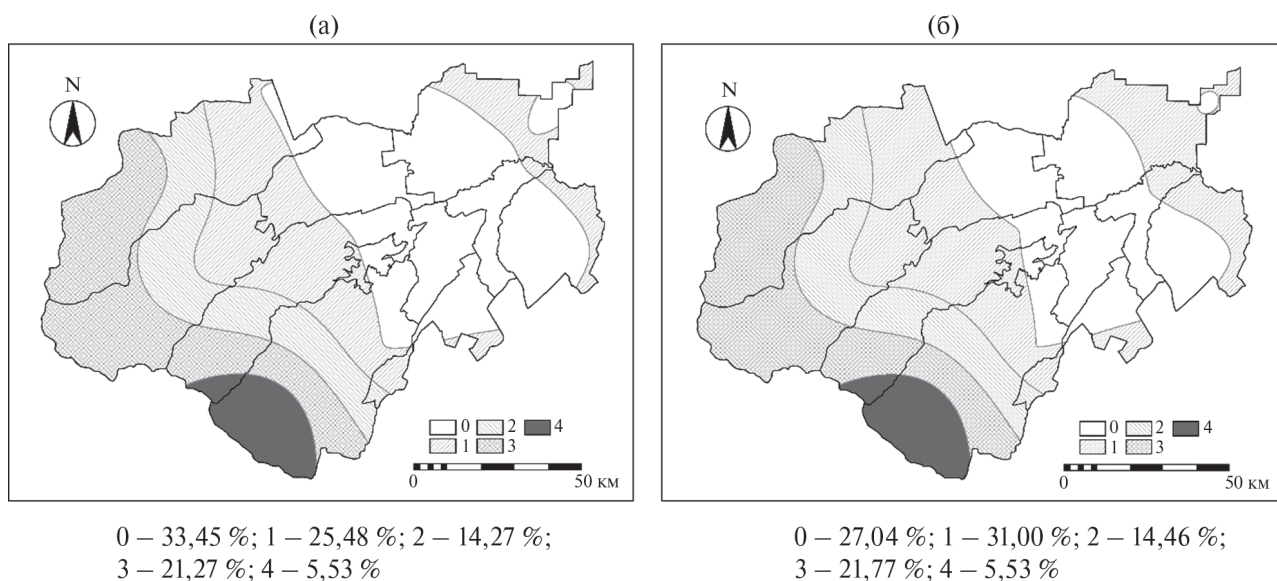


Рис. 2. Пригодность земель КБР для выращивания сорта Надия, % от всей территории: а – за 1985–2000 гг.; б – за 2001–2024 гг.

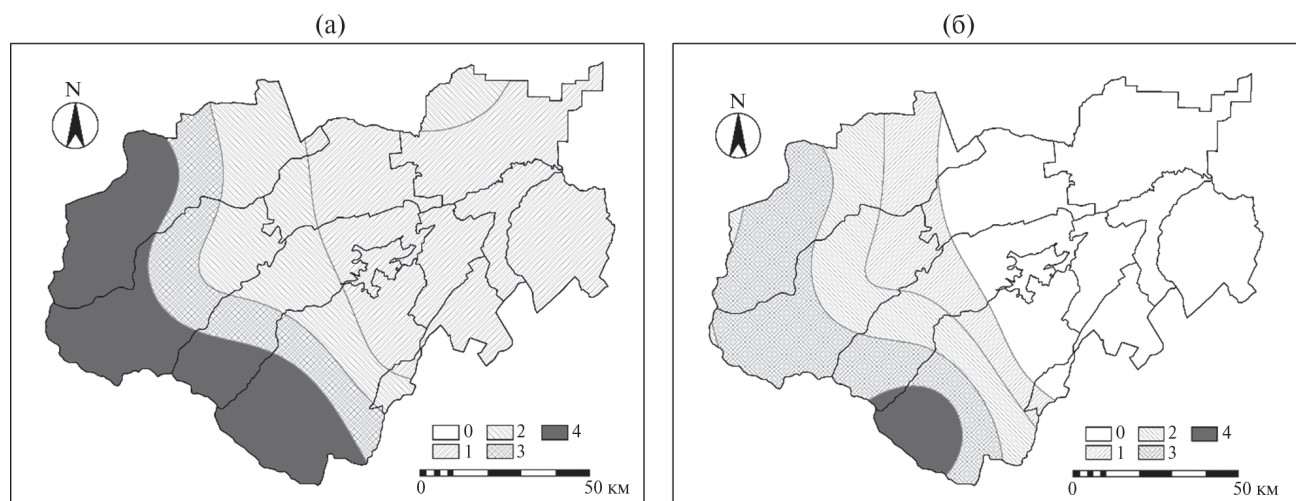


Рис. 3. Прогнозный сценарий пригодности земель КБР для выращивания сортов персика на 2040 г.: а – Нарядный Никитский; б – Надия.

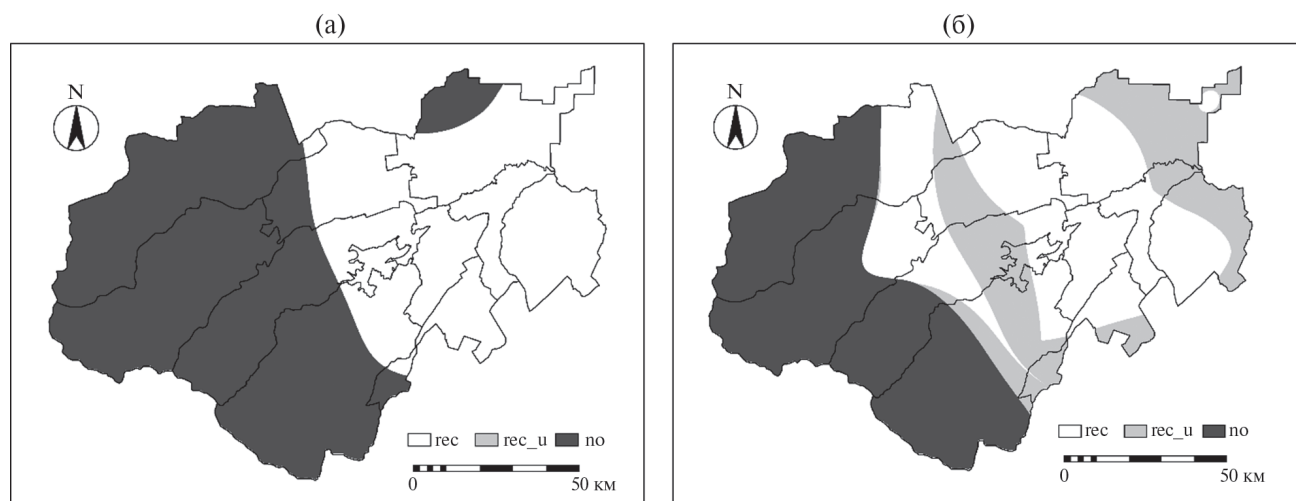


Рис. 4. Перспективные земли для расширения насаждений персика в КБР: а – Нарядный Никитский; б – Надия; rec – стабильно пригодные, rec_u – станут пригодными в течение ближайших 20 лет, no – не рекомендуются.

делается обычно [18, 19, 20]. Он может быть использован для анализа пригодности земель для других плодовых и ягодных культур в различных регионах. Однако в этом случае для его использования необходимо будет провести дополнительную апробацию. Конечно же, в рамках представленного подхода учтены только тренды изменения критических температур зимне-весеннего периода. Для построения более точных сценариев необходим учет и других факторов, предопределяющих пригодность земель, в частности, показателей рельефа и особенностей строения почвенного покрова, которые также могут оказать значительное влияние на результаты анализа [7], а также развитость инфраструктуры. Кроме того, при использовании предложенного подхода на практике необходимо учитывать, что представленные пространственные сценарии не учитывают микроварьирование свойств земель (микроклимата, почв, микрорельефа и др.), которое может иметь большое значение при размещении конкретных садов [21, 22].

С этой точки зрения проведенные исследования на примере одного, хотя и ведущего лимитирующего фактора (критических температур зимне-весеннего периода) представляют собой лишь демонстрацию возможностей разработанного подхода. Поэтому представленные сце-

нарии могут рассматриваться только в качестве первого приближения, в рамках которого выделяются районы, которые заведомо непригодны и будут малопригодны с учетом происходящих изменений климата. А в пределах рекомендуемых районов при размещении конкретных садовых массивов необходим тщательный анализ локальных условий, который может быть проведен точно так же, как это описано на более генерализованном примере, но с использованием при пространственном моделировании более детальных данных.

Выводы. На примере сортов персика в КБР продемонстрирован инновационный подход к моделированию оптимального их размещения на основе изучения систем адаптивности к воздействию температурных стрессов зимне-весеннего периода с учетом происходящих изменений климата, который после соответствующей адаптации может быть тиражирован для других плодовых и ягодных культур. Несмотря на отмечаемые изменения климата в сторону повышения средних температур воздуха, в последние десятилетия в целом на территории республики увеличивается вероятность проявления критических для персика температур воздуха, особенно в горах и предгорьях. Предложенный подход открывает возможности для управления продуктивностью сортов персика

в Республике Кабардино-Балкария на основе оптимизации их размещения по микроразонам с использованием цифровых технологий в условиях изменения климата.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа финансировалась за счет средств бюджета Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства и виноделия, Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», Института экологии Российского университета дружбы народов, Северо-Кавказского института горного и предгорного садоводства, Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского в рамках государственных заданий. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство этим конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Шитт П. Г., Метлицкий З. А. Плодоводство. М.: Сельхозгиз, 1940. 660 с.
2. К созданию инновационных высоких технологий конструирования сортов плодовых культур с максимальными урожаями и оптимального размещения на фоне разных динамик лимитирующих факторов внешней среды / В. А. Драгавцев, И. А. Драгавцева, И. Ю. Савин и др. Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2022. 95 с.
3. An overview of a land evaluation in the context of ecosystem services / J. Janků, J. Jehlička, K. Heřmanová, et al. // *Soil & Water Res.* 2022. Vol. 17. P. 1–14. URL: https://swr.agriculturejournals.cz/artkey/swr-202201-0001_an-overview-of-a-land-evaluation-in-the-context-of-ecosystem-services.php (дата обращения: 01.04.2025). doi: 10.17221/136/2021-SWR.
4. Geleta B. T., Abebe A. M., Heo J. Y. Effect of Genotype × Environment Interactions on Apple Fruit Characteristics in a High Latitude Region of Korea // *Applied Fruit Science*. 2025. Vol. 67. P. 14. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10341-024-01243-0> (дата обращения: 01.04.2025). doi: 10.1007/s10341-024-01243-0.
5. Temperature changes affected spring phenology and fruit quality of apples grown in high-latitude region of South Korea / J. C. Lee, Y. S. Park, H. N. Jeong, et al. // *Horticulturae*. 2023. Vol. 9. No. 7. P. 794. URL: <https://www.mdpi.com/2311-7524/9/7/794> (дата обращения: 01.04.2025). doi: 10.21273/HORTSCI17143-23.
6. Dissecting the impact of environment, season and genotype on blackcurrant fruit quality traits / D. M. Pott, S. Durán-Soria, J. W. Allwood, et al. // *Food Chemistry*. 2023. Vol. 402. P. 134360. URL: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/30/4/jcli-d-16-0338.1.xml> (дата обращения: 01.04.2025). doi: 10.1016/j.foodchem.2022.134360.
7. Драгавцева И. А., Савин И. Ю., Загиров Н. Г. Ресурсный потенциал земель Северного Кавказа для плодового садоводства. Краснодар-Махачкала: ДагНИИСХ, 2016. 138 с.
8. Дорошенко Т. Н., Захарчук Н. В., Максимцов Д. В. Устойчивость плодовых и декоративных растений к температурным стрессорам: диагностика и пути повышения. Краснодар: Кубанский ГАУ, 2014. 174 с.
9. Драгавцев В. А., Литун П. П., Шкель Н. М. Эколого-генетический контроль количественных признаков растений // *Доклады академии наук СССР*. 1984. № 3. С. 720–723.
10. Управление взаимодействием «генотип–среда» – важнейший рычаг повышения урожайности сельскохозяйственных растений / В. А. Драгавцев, И. А. Драгавцева, И. Л. Ефимова и др. // *Труды КубГАУ*. 2016. № 59. С. 105–121.
11. Дьяков А. Б. Надорганизменные биологические системы и принципы их изучения. Краснодар: Просвещение-Юг, 2019. 267 с.
12. Atmospheric Water Balance and Variability in the MERRA-2 Reanalysis / M. G. Bosilovich, F. R. Robertson, L. Takacs, et al. // *J. Climate*. 2017. Vol. 30. No. 4. P. 1177–1196. URL: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/30/4/jcli-d-16-0338.1.xml> (дата обращения: 01.04.2025). doi: 10.1175/JCLI-D-16-0338.1.
13. ILWIS 2.2 Reference guide. ITC, The Netherlands, 1998. 350 p.
14. Hengl T., Maathuis B. H. P., Wang L. Chapter 13 Geomorphometry in ILWIS // *Developments in Soil Science*. 2009. Vol. 33. P. 309–331. doi: 10.1016/S0166-2481(08)00013-5.
15. Rodrigo J. Spring frosts in deciduous fruit trees – morphological damage and flower hardiness // *Scientia Horticulturae*. 2000. Vol. 85. No. 3. P. 155–173. doi: 10.1016/S0304-4238(99)00150-8.
16. Керимов И. А., Братков В. В., Бекмурзаева Л. Р. Динамика агроклиматических показателей степных ландшафтов северного Кавказа по данным наземных наблюдений // *Геология и геофизика Юга России*. 2024. Т. 14. № 2. С. 219–230.
17. Изменение основных климатических показателей в предгорной зоне Северного Кавказа за период 1961–2022 гг. / Л. М. Федченко, А. А. Ташилова, Л. А. Кешева и др. // *Географический вестник*. 2024. № 1(68). С. 113–123. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-113-123.
18. Kim H., Shim K. Land suitability assessment for apple (*Malus domestica*) in the Republic of Korea using integrated soil and climate information, MLCM, and AHP // *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2018. Vol. 11. No. 2. P. 139–144.
19. GIS-Based Geopedological Approach for Assessing Land Suitability for Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) Groves for Fruit Production. / M. Rossi, M. De Feudis, W. Trenti, et al. // *Forests*. 2023. Vol. 14. No. 2. P. 1–20. URL: <https://cris.unibo.it/handle/11585/921360> (дата обращения: 01.04.2025).
20. Quinta-Nova L., Ferreira D. Land suitability analysis for emerging fruit crops in Central Portugal using GIS // *Agriculture and Forestry*. 2020. Vol. 66. No. 1. P. 41–48. doi: 10.17707/AgricultForest.66.1.05.
21. Soil Quality Assessment and Its Spatial Variability in an Intensively Cultivated Area in India / R. Ellur, A. M. Ankappa, S. Dharumarajan, et al. // *Land*. 2024. Vol. 13. No. 7. P. 970. URL: <https://www.mdpi.com/2073-445X/13/7/970> (дата обращения: 01.04.2025). doi: 10.3390/land13070970.
22. Forecasting future crop suitability with microclimate data / A. S. Gardner, I. M. D. Maclean, K. J. Gaston, et al. // *Agricultural Systems*. 2021. Vol. 190. Art. 103084. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X21000378> (дата обращения: 01.04.2025). doi: 10.1016/j.agry.2021.103084.

Поступила в редакцию 03.04.2025
После доработки 30.04.2025
Принята к публикации 20.05.2025