

## Подбор элементов адаптивного садоводства в зависимости от климатического потенциала территории

Потанин Д.В.<sup>1✉</sup>, Иванова М.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Агротехнологическая академия Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Россия, 295492, Республика Крым, г. Симферополь, п. Аграрное

<sup>2</sup>Центр агрохимической службы «Крымский», Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 75/1

✉potanin.07@mail.ru

**Аннотация.** Для разработки адаптивных систем технологии выращивания плодовых, ягодных культур и винограда необходимо провести учет основных климатических факторов, способных оказывать влияние на продуктивность насаждений. При этом важным является проведение сравнительного анализа известных параметров с экологическими требованиями каждой культуры, а также поиск сортов, в большей степени приспособленных к условиям выращивания в каждой конкретной местности. Цель исследований – разработать методологические подходы выбора технологии выращивания основных плодовых, ягодных культур и винограда с учетом адаптивного садоводства в условиях Крыма и г.о. Севастополь. Методы исследования: сравнительный анализ экологических требований культур и климатических условий территории, подбор элементов технологий выращивания, способных нивелировать неблагоприятные факторы окружающей среды, синтез их в общую систему адаптивной агротехнологии производства плодовой, ягодной продукции и винограда. На основе разработанной базы данных климатических факторов Республики Крым и г.о. Севастополь (22 метеостанции) подобраны критерии соответствия с требованиями каждой культуры и их отдельных групп сортов. Осуществлено разграничение между возможностями регулирования потребностей культуры за счет сортовой пластичности к внешним абиотическим факторам и возможностью применения отдельных агротехнических мероприятий, влияющих на улучшение (адаптацию) условий окружающей среды для максимальной реализации биологического потенциала продуктивности насаждений. Разработан методологический подход выбора технологии выращивания основных плодовых, ягодных культур и винограда с учетом внедрения элементов адаптивного садоводства. Для оптимального выбора технологии следует учитывать все возможные сценарии агротехнологии. Это позволит в дальнейшем достичь высокой стабильной продуктивности насаждений. Механизм составления сценариев адаптивного садоводства для производственного цикла выращивания культур может использоваться при дальнейшей автоматизации подбора технологии выращивания.

**Ключевые слова:** пловодство; виноградарство; технология; адаптивное садоводство; сорт; климат; алгоритм; продуктивность; эффективность производства.

**Для цитирования:** Потанин Д.В., Иванова М.И. Подбор элементов адаптивного садоводства в зависимости от климатического потенциала территории // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2022;24(3):254-262. DOI 10.34919/IM.2022.24.3.009.

O R I G I N A L R E S E A R C H

## Selection of adaptive gardening elements depending on the climatic potential of the territory

Potanin D.V.<sup>1✉</sup>, Ivanova M.I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Agrotechnological Academy of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “V.I. Vernadsky Crimean Federal University”, Agrarmoye village, 295492 Simferopol, Republic of Crimea, Russia

<sup>2</sup>Center of Agrochemical Service Krymskiy, 75/1 Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, Russia

✉potanin.07@mail.ru

**Abstract.** In order to develop adaptive technology systems for growing fruit, berry crops and grapes, it is necessary to take into account the main climatic factors that can affect the productivity of plantings. At the same time, it is important to conduct a comparative analysis of the parameters known with the environmental requirements of each crop, as well as to search for varieties, more adapted to the growing conditions in each specific area. The purpose of the research is to develop methodological approaches for choosing the technology of growing basic fruit, berry crops and grapes, taking into account adaptive gardening in the conditions of Crimea and Sevastopol. Research methods: comparative analysis of ecological requirements of crops and climatic conditions of the territory, selection of cultivation technology elements, capable of leveling unfavorable environmental factors, their synthesis into a common system of adaptive agricultural technology for the production of fruit, berry and grape products. Based on the developed database of climatic factors of the Republic of Crimea and the city of Sevastopol (22 weather stations), the criteria of compliance with the requirements of each crop and their individual groups of varieties were selected. A distinction has been made between the possibilities of regulating the needs of culture due to varietal plasticity to external abiotic factors and the possibility of applying certain agrotechnical measures affecting the improvement (adaptation) of environmental conditions for the maximum realization of biological potential of planting productivity. A methodological approach for choosing the technology of growing basic fruit and berry crops and grapes was developed, taking into account the introduction of adaptive gardening elements. For the optimal selection of technique, all possible scenarios of agricultural technology should be taken into account. This will allow achieving high stable productivity of plantings in the future. The mechanism of creating scenarios of adaptive gardening for production cycle of growing crops can be used for further automation to select the cultivation technology.

**Key words:** fruit growing; viticulture; technology; adaptive gardening; variety; climate; algorithm; productivity; production efficiency.

**For citation:** Potanin D.V., Ivanova M.I. Selection of adaptive gardening elements depending on the climatic potential of the territory. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2022;24(3):254-262. DOI 10.34919/IM.2022.24.3.009 (in Russian).

## Введение

Современное сельское хозяйство развивается по нескольким направлениям, обеспечивая население своей продукцией для потребления. При этом одними из главных факторов, имеющих большое значение, являются объем и качество производимой продукции. Объем производства продукции сельского хозяйства, в свою очередь, зависит от площадей, занимаемых самой культурой, а также продуктивностью каждой единицы площади. Существует показатель – биологический потенциал продуктивности, который теоретически можно достичь, создав для растения максимально оптимальные условия, чтоб оно в полной мере смогло произвести хозяйственно ценный урожай. Так, известно, что биологический потенциал продуктивности у яблони, к примеру, достигает урожайности 400 т/га [1]. Биологический потенциал продуктивности реализуется в условиях наибольшего благоприятствования развитию растений, при которых на культуру не оказывают влияние стресс-факторы, а также нет ограничений по обеспеченности показателей, стимулирующих репродукционные способности насаждений. Эти условия, как правило, могут в полной мере реализовываться в тех зонах, в которых появился сам вид растений, поскольку они в полной мере соответствуют экологической нише культуры [2, 3]. Выращивание отдельной культуры не ограничено лишь той зоной, где она произошла, а в ходе распространения интродуцируется в другие условия, которые могут значительно отличаться по почвенным и климатическим условиям от экологической ниши, в которой она произошла и окультурировалась. Создание благоприятных условий выращивания культурных растений для максимальной реализации биологического потенциала продуктивности плодоношения – задача современного направления сельского хозяйства, которое называется адаптивным [4–6].

В большинстве случаев современное сельское хозяйство, и садоводство в особенности, ориентируется на применение принципов, построенных на основе Закона ограничивающих факторов [7]. Однако учитывая в соответствии с этим природным законом только факторы, показывающие свое минимальное значение, и не учитывая взаимодействие самих факторов между собой, невозможно осуществить качественный прорыв в реализации биологического потенциала продуктивности насаждений. Это реализуемо при учете не только ограничивающих факторов, но и при учете избыточного влияния положительных факторов, а также их совместного, комплексного взаимодействия (Закон экологического оптимума В. Шелфорда) [8].

Адаптивное сельское хозяйство направленно именно на поиск условий, характерных для территории выращивания, а также подбор культур и сортов, дающих благоприятный отклик на объективно сложившиеся факторы окружающей среды, позволяющие получать гарантировано качественную товарную продукцию, а, следовательно, и обеспечивающую эффективность производства [9, 10]. Особенно важ-

ным является такой подход во время глобального изменения климата [11]. При этом, в первую очередь, необходимо руководствоваться целесообразностью выбора элементов технологии выращивания, их эффективностью в сравнении с общепринятыми методами, влиянием на уровни продуктивности территории, стабильностью получения ежегодных урожаев, а также экономическими показателями производства в сравнении с подобной продукцией. Для садоводства и виноградарства эта проблема является более актуальной, если сравнивать с другими подотраслями сельского хозяйства. Это связано с тем, что большинство плодовых, ягодных культур и виноград являются многолетними растениями и подвержены влиянию большего спектра абиотических и биотических факторов, способных негативно влиять на продуктивность насаждений.

Поэтому необходимо разработать такие методы подбора технологий выращивания, включая и правильный подбор культур и сортов, обеспечивающих наибольшую эффективность производства.

**Цель исследований** – разработать методологические подходы выбора технологии выращивания основных плодовых, ягодных культур и винограда с учетом адаптивного садоводства в условиях Крыма и г.о. Севастополь.

## Материалы и методы исследования

Методы исследования: сравнительный анализ экологических требований культур и климатических условий территории, подбор элементов технологий выращивания, способных нивелировать неблагоприятные факторы окружающей среды, синтез их в общую систему адаптивной агротехнологии производства плодовой, ягодной продукции и винограда.

Для подбора элементов адаптивного садоводства применялся анализ экологических требований культур к окружающей среде по каждому из отдельных факторов. При выполнении этой задачи была создана база данных климатических факторов по 22 метеостанциям Республики Крым и г.о. Севастополь, в котором отображены все важные для развития агроклиматические данные и проводился автоматический анализ колебаний параметров за весь период исследований, начиная с 2005 по 2021 гг.

## Результаты и их обсуждение

Каждая культура предъявляет требования к окружающей среде, в которой может выращиваться [12]. Чем более благоприятные условия, тем больше возможностей культуры для достижения высокой и стабильной продуктивности. При этом уже известны параметры, которые позволяют эффективно выращивать все сельскохозяйственные растения, к ним в первую очередь относятся – продолжительность теплового периода, суммы активных температур, требования к влажностному режиму (относительная влажность воздуха и водопотребление культуры) [13–15]. Для многолетних культур, которыми являются плодовые, большинство ягодных и виноград, также необходимо учитывать и условия перезимовки



**Рис. 1.** Базовая технология выращивания плодовых культур  
**Fig. 1.** Basic technology for growing fruit crops

– минимальные температуры в зимний период, продолжительность холодного периода и вероятность повреждения генеративных органов возвратными заморозками [16–18]. При этом внутри каждой культуры существуют сорта, обладающие в той или иной степени пластичностью приспособления к неблагоприятным условиям окружающей среды, что позволяет при правильном их подборе увеличить ареал распространения самой культуры, а также обеспечить большую стабильность продуктивности насаждений [19, 20].

Зная параметры территории выращивания, а также экологические требования культур или их отдельных сортов, простой сравнительный анализ уже на первом этапе может применяться по определению целесообразности размещения насаждений в данной местности. При этом лучшим подходом является проведение работ по моделированию климатических условий с использованием статистических методов исследований, которые позволяют определить колебания параметров каждого из факторов, влияющих на нормальное развитие растений [21–23]. Подобная работа позволяет не только подобрать сорта, наиболее приспособленные к климату зоны выращивания, но также и разработать ряд агротехнических мероприятий, способных корректировать отдельные ожидаемые неблагоприятные погодные факторы, что и составляет в целом технологию выращивания культур на основе адаптивного подхода производственного цикла [24–26].

Такой подход может накладываться на технологические подходы производственного цикла, который является обязательным и может корректироваться лишь в зависимости от ресурсообеспеченности самого предприятия и его возможностей. Для плодовых культур это – система обработки почвы в рядах и междурядьях, уход за кроной дерева или формой куста, выбор системы защиты растений, а также сте-

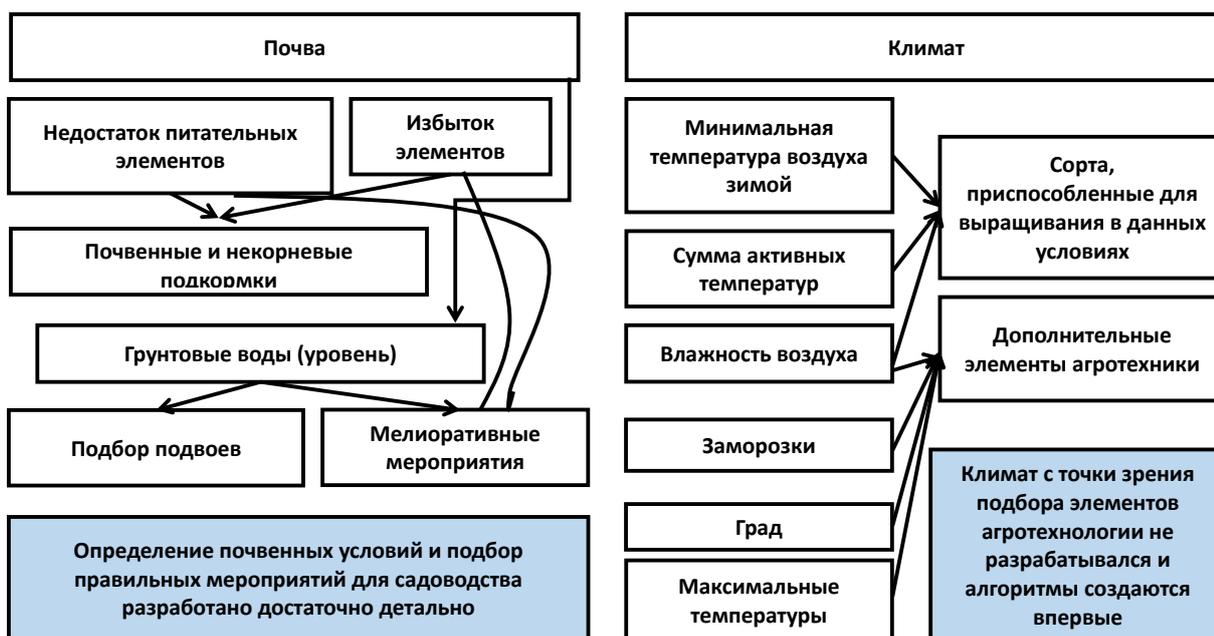
пень механизации и автоматизации уборочной кампании (рис. 1).

Естественно, в зависимости от интенсивности технологии выращивания, в условиях привитой культуры плодовых растений и винограда, применяются и подвойные формы или сорта, которые позволяют ограничивать силу роста растений, однако, они в большей степени взаимодействуют и с почвенными условиями, что уже требует адаптивного подхода к их выбору. Так, виноград в привитой культуре требует подбора, в первую очередь, подвойного сорта по его устойчивости к уровню активных карбонатов и солей в почве, а для плодовых культур в северной зоне выращивания – морозостойкости корневой системы и способности выдерживать различные уровни грунтовых вод, а также некоторых соединений, токсичных для корней растений. При этом систематизируя подходы адаптивности в садоводстве и виноградарстве можно учесть взаимодействие сортовых агротехнических мероприятий, которое позволит свести к минимуму неблагоприятное воздействие абиотических факторов (рис. 2).

Подбором сортов привоев и подвоев возможно в полной или частичной мере снизить неблагоприятное влияние дефицита или избытка таких факторов, как:

- минимальная температура воздуха зимой (за счет подбора морозостойких сортов);
- недостаток сумм активных температур (при подборе сортов с коротким вегетационным циклом развития);
- избыток сумм активных температур (с учетом подбора сортов южного происхождения, приспособленных к продолжительному тепловому периоду);
- дефицит или избыток относительной влажности воздуха (подбор сортов, выдерживающих переувлажнение или воздушную засуху);
- возвратные заморозки (в частичной мере), с учетом выбора сортов, поздно начинающих вегетацион-

### На растения влияют абиотические факторы, которые снижают продуктивность насаждений и требуют корректировки технологии выращивания многолетних насаждений



**Рис. 2.** Адаптация технологии выращивания плодовых культур в зависимости от почвенно-климатических условий территории

**Fig. 2.** Adaptation of technology for growing fruit crops depending on soil and climatic conditions of the territory

ный период, или имеющих высокую экстремальную устойчивость к временному понижению температур без повреждения генеративных органов;

- избыток или дефицит элементов питания в почве (частично, за счет правильного выбора подвойных форм растений).

С другой стороны, агротехническими мероприятиями можно нивелировать такие стресс-факторы, как:

- недостаток элементов питания (с применением удобрений или подкормок растений);

- неблагоприятное воздействие солей хлор-, карбонат-, гидрокарбонатсодержащих или других токсических соединений при использовании методов химической мелиорации или выборе правильных соединений балластной составляющей удобрений (физиологически кислые или щелочные удобрения для почвы);

- высокий уровень грунтовых вод (за счет проведения гидромелиоративных мероприятий по водоотведению);

- дефицит влаги в почве и высоких температур воздуха (с использованием различных, доступных для производства методов орошения);

- защита от заморозков (с применением методов борьбы с различными типами заморозков, в том числе мелкодисперсное дождевание или прямой нагрев воздуха), в случаях, когда экстремально низкие температуры опускаются ниже уровней устойчивости генеративных органов растений в каждую конкретную фазу их развития;

- защита насаждений от града (с применением барьерных методов монтажа градозащитных сеток).

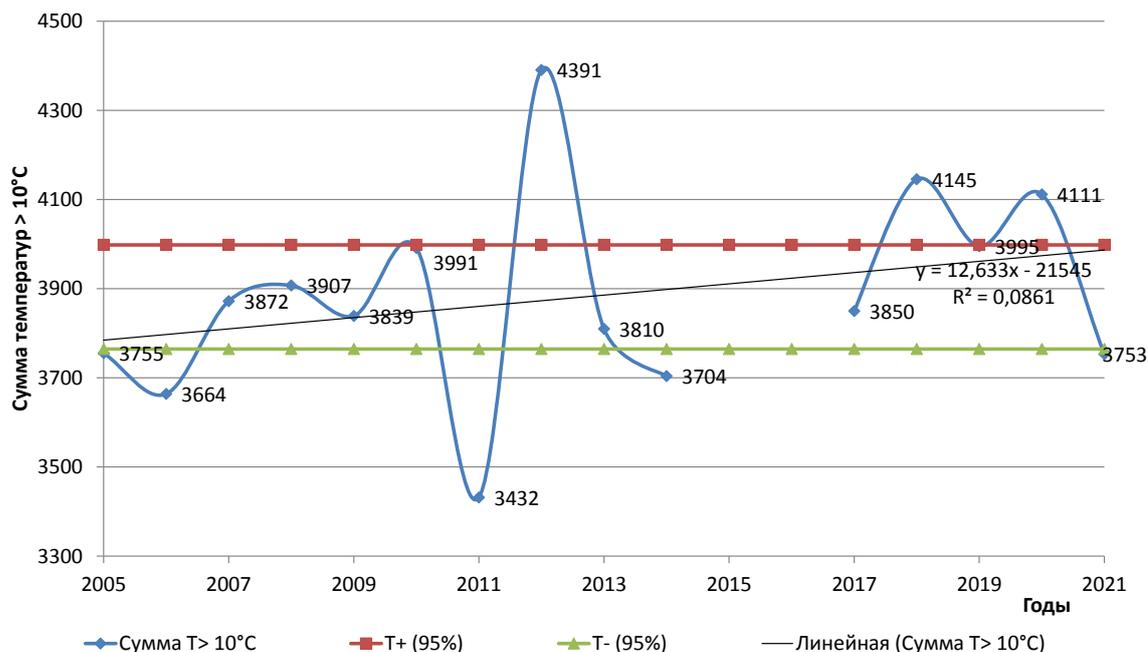
Используя данные климата по каждому отдель-

ному параметру, можно провести сравнительный анализ и выделить пригодность территории к выращиванию той или иной культуры, а также ограничения, связанные с данным параметром. Так, изучая суммы температур выше 10°C (рис. 3) на примере метеостанции в с. Клепинино Красногвардейского района Республики Крым (табл.) можно определить, что в целом территория района по теплообеспеченности подходит для выращивания подавляющего большинства культур.

При этом ограничения существуют по недостатку сумм температур для винограда сортов очень позднего срока созревания, груши сортов зимнего и позднезимнего сроков созревания, а также яблони позднезимнего срока созревания. При подборе сортов большинства плодовых и ягодных культур умеренного климатического пояса необходимо руководствоваться подбором по происхождению и пригодности для выращивания в жарком климате (сорта южного происхождения). В противном случае, могут наблюдаться отклонения в нормальности прохождения вегетационного цикла, что негативно скажется на продуктивности насаждений и товарности продукции.

Подобная систематизация климатических данных должна проводиться и по другим параметрам. К примеру, на основе принципов сравнения для отдельных групп сортов могут определяться вероятности их повреждения по морозостойкости с различной долей вероятности (рис. 4).

При этом следует учитывать, что оптимальным для гарантированного производства с учетом бизнес-рисков, считается вероятность повреждения не более 20%. На рис. 4 представлена карта вероятности повреждения неморозостойких сортов сливы, у которых



**Рис. 3.** Сумма температур выше 10°C на метеостанции с. Клепонино, (WMO\_ID=33939) в период с 2005 по 2021 гг. с расчетными критериями колебаний на уровне 95% вероятности

**Fig. 3.** The sum of temperatures above 10°C at weather station in Klepinino village, (WMO\_ID=33939) from 2005 to 2021 with calculated deviation criteria at the level of 95% probability

**Таблица.** Сравнительный анализ между теплообеспеченностью территории Красногвардейского района (метеостанция в с. Клепонино, WMO\_ID=33939) и потребностью плодовых, ягодных культур и винограда

**Table.** Comparative analysis between heat supply of Krasnogvardeiskiy district territory (weather station in Klepinino village, WMO\_ID=33939) and the demand for fruit, berry crops and grapes

Культура	Группа сортов по требованию к теплообеспеченности	Сумма температур выше 10°C		Пояснение
		минимально допустимое значение	максимально допустимое значение	
1	2	3	4	5
Абрикос		2600	3500	Избыток теплообеспеченности. Рекомендуется использование сортов южного происхождения или жаростойких.
Алыча		3000	4000	Теплообеспеченность нормальная. Пригодно для выращивания культуры.
Виноград	очень раннего срока созревания	2400	4900	Теплообеспеченность нормальная. Пригодно для выращивания культуры.
	раннего срока созревания	2600	4900	Теплообеспеченность нормальная. Пригодно для выращивания культуры.
	среднераннего срока созревания	3000	4900	Теплообеспеченность нормальная. Пригодно для выращивания культуры.
	среднего срока созревания	3200	4900	Теплообеспеченность нормальная. Пригодно для выращивания культуры.
	среднепозднего срока созревания	3400	4900	Теплообеспеченность нормальная. Пригодно для выращивания культуры.
	позднего срока созревания	3700	4900	Теплообеспеченность нормальная. Пригодно для выращивания культуры.
	очень позднего срока созревания	4200	4900	Выращивание культуры нецелесообразно, поскольку суммы температуры недостаточно для прохождения цикла.
Вишня войлочная		2200	2900	Избыток теплообеспеченности. Рекомендуется использование сортов южного происхождения или жаростойких.
Кизил		2500	3700	Избыток теплообеспеченности. Рекомендуется использование сортов южного происхождения или жаростойких.
	азиатские сорта	3000	4500	Теплообеспеченность нормальная. Пригодно для выращивания культуры.

Окончание таблицы  
End of Table

1	2	3	4	5
Крыжовник		1300	2100	Избыток теплообеспеченности. Рекомендуется использование сортов южного происхождения или жаростойких.
Миндаль		3300	4300	Теплообеспеченность нормальная. Пригодно для выращивания культуры.
Облепиха		1900	2800	Избыток теплообеспеченности. Рекомендуется использование сортов южного происхождения или жаростойких.
Орех грецкий		2000	3200	Избыток теплообеспеченности. Рекомендуется использование сортов южного происхождения или жаростойких.
Персик		2800	4000	Теплообеспеченность нормальная. Пригодно для выращивания культуры.
Слива		2100	3300	Избыток теплообеспеченности. Рекомендуется использование сортов южного происхождения или жаростойких.
Смородина красная		1300	2500	Избыток теплообеспеченности. Рекомендуется использование сортов южного происхождения или жаростойких.
	южного происхождения	1300	3000	Избыток теплообеспеченности. Рекомендуется использование сортов южного происхождения или жаростойких.
Смородина черная		1300	2100	Избыток теплообеспеченности. Рекомендуется использование сортов южного происхождения или жаростойких.
	южного происхождения	1300	2600	Избыток теплообеспеченности. Рекомендуется использование сортов южного происхождения или жаростойких.
Черешня		2300	3300	Избыток теплообеспеченности. Рекомендуется использование сортов южного происхождения или жаростойких.
Яблоня	летнего срока созревания	1800	3200	Избыток теплообеспеченности. Рекомендуется использование сортов южного происхождения или жаростойких.
	осеннего срока созревания	2200	3400	Избыток теплообеспеченности. Рекомендуется использование сортов южного происхождения или жаростойких.
	зимнего срока созревания	2400	3500	Избыток теплообеспеченности. Рекомендуется использование сортов южного происхождения или жаростойких.
	позднезимнего срока созревания	3800	4000	В отдельные годы цикл выращивания может нарушаться из-за дефицита теплообеспеченности. Рискованное выращивание.
Груша	летнего срока созревания	2200	3400	Избыток теплообеспеченности. Рекомендуется использование сортов южного происхождения или жаростойких.
	осеннего срока созревания	2400	3500	Избыток теплообеспеченности. Рекомендуется использование сортов южного происхождения или жаростойких.
	зимнего срока созревания	3800	4000	В отдельные годы цикл выращивания может нарушаться из-за дефицита теплообеспеченности. Рискованное выращивание.

уровень экстремальной морозостойкости в период глубокого (органического) покоя не ниже минус 19°C. Их нормальное размещение ограничено районами, прилегающими к морю, где вероятность морозов низкая. В остальных районах степной, северной и предгорной частей Крыма следует подбирать сорта более морозостойкие (сорта европейской и американской групп по происхождению), которые могут выдерживать температуры до минус 30°C. При таком выборе групп сортов по всей территории Республики Крым повреждения сливы зимними морозами практически не будут наблюдаться.

На основе учета мероприятий, способных удовлетворить потребности культуры, и при правильном выборе сортов становится возможным осуществить подбор технологии в зависимости от интенсивности насаждений. Так, для сливы выбор по гибкому алгоритму составляют не менее 6561 сценариев (рис. 5). В него в качестве блоков работ включены все возможные элементы технологий на каждом уровне, начиная

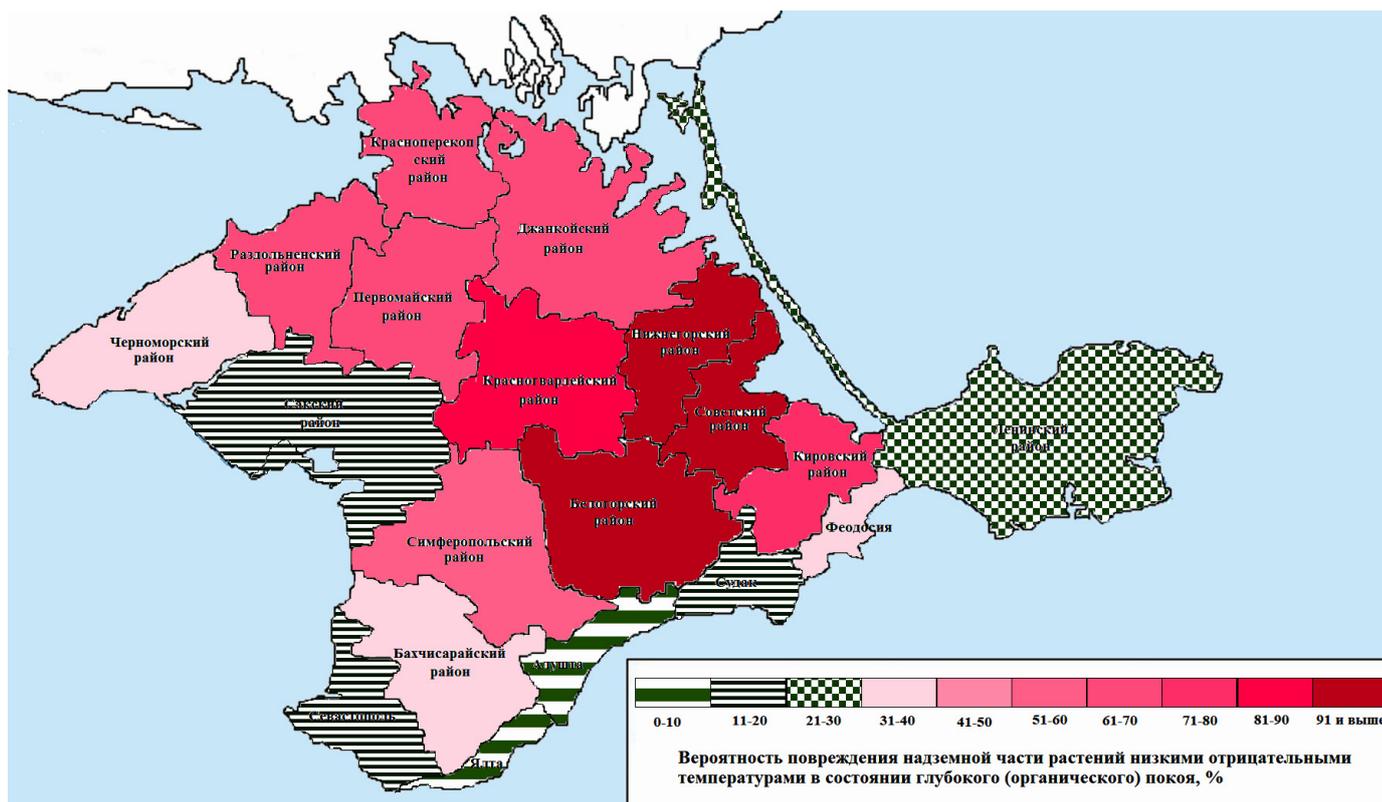
от выбора схемы (плотности) посадки, формы кроны, системы орошения, защиты растений, содержания почвы и завершая подбором технологии.

Такой подход может применяться и для других культур, что является необходимым для автоматизации и цифровизации управления технологическим производственным циклом при проектировании эффективности предприятия, а также контроля качества выполнения самих работ и прогнозирования продуктивности насаждений с целью достижения высокой производительности труда и экономической целесообразности.

#### Выводы

Разработан методологический подход выбора технологии выращивания основных плодовых, ягодных культур и винограда с учетом внедрения элементов адаптивного садоводства.

Климатические факторы окружающей среды могут оказывать неблагоприятное влияние на продуктивность насаждений. Для снижения вредонос-



**Рис. 4.** Вероятность повреждения сливы сортов южного происхождения морозами в зимний период на территории Республики Крым

**Fig. 4.** The probability of damage to plum varieties of Southern origin by frost in winter period on the territory of the Republic of Crimea

### Агротехнология выращивания сливы



Всего: 6561 сценарий

**Рис. 5.** Алгоритм подбора технологии выращивания сливы

**Fig. 5.** Algorithm of selecting the technology for growing plums

ного их воздействия на продуктивность плодовых, ягодных культур и винограда необходимо в зонах с высокой вероятностью проявления таких неблагоприятных факторов внедрять элементы технологии, которые способны свести риски к минимуму либо их полностью исключить.

Для оптимального выбора технологии следует учитывать все возможные сценарии агротехнологии. Это позволит в дальнейшем достичь высокой стабильной продуктивности насаждений.

#### Источник финансирования

Не указан.

#### Financing source

Not specified.

#### Конфликт интересов

Не заявлен.

#### Conflict of interests

Not declared.

#### Список литературы

1. Кичина В.В. Колонновидные яблони: Все о яблонях колонновидного типа. М.: ВСТИСП. 2002:1-160.
2. Вавилов Н.И. Пять континентов / Краснов А.Н. Под тропиками Азии. М.: Мысль. 1987:1-348.
3. McGill B.J. A test of the unified neutral theory of biodiversity. *Nature*. 2003;422:881-885. DOI 10.1038/nature01583.
4. Altieri M.A., Nicholls C.I. The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climatic Change*. 2017;140:33-45. DOI 10.1007/s10584-013-0909-y.
5. Campbell B.M., Vermeulen S.J., Aggarwal P.K., Corner-Dolloff C., Girvetz E., Loboguerrero A.M., Ramirez-Villegas J., Rosenstock T., Sebastian L., Thornton P.K., Wollenberg E. Reducing risks to food security from climate change. *Global Food Security*. 2016;11:34-43. DOI 10.1016/j.gfs.2016.06.002.
6. Noya I., González-García S., Bacenetti J., Fiala M., Moreira M.T. Environmental impacts of the cultivation-phase associated with agricultural crops for feed production. *Journal of Cleaner Production*. 2018;172:3721-3733. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.07.132.
7. Манько О.М., Мешалкин А.В., Кривов С.И. Экологические основы природопользования: Учебник. М.: Академия. 2019:1-640.
8. Трушина Т.П. Экологические основы природопользования. Ростов-на-Дону: Феникс. 2001:1-384.
9. Драгавцева И.А., Кузнецова А.П., Савин И.Ю., Прудникова Е.Ю. Пути обеспечения стабильности плодоношения сортов плодовых культур на основе оценки их адаптационного потенциала в изменяющихся условиях среды // Садоводство и виноградарство. 2019;(3):34-42. DOI 10.31676/0235-2591-2019-3-34-42.
10. Рындин А.В., Драгавцева И.А., Мохно В.С. Соответствие требований культуры персика условиям среды влажных субтропиков России // Садоводство и виноградарство. 2013;1:24-29.
11. Kunz A., Blanke M.M. Effects of climate change on fruit tree physiology - based on 55 years of meteorological and phenological data at Klein-Altendorf. *Acta Horticulturae*. 2016;1130:49-54. DOI 10.17660/ActaHortic.2016.1130.7.
12. Адаптивное садоводство. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I. 2022:1-275.
13. Артюх С.Н., Можар Н.В. Соответствие требований породы, сорта (по фазам развития) к качественным и количественным параметрам среды (семечковые культуры) // Си-Магарач. Виноградарство и виноделие 2022.24.3
- стеомобразующие экологические факторы и критерии зон устойчивого развития плодового садоводства на Северном Кавказе. 2001:174-197.
14. Guédon Y., Caraglio Y., Granier C., Lauri P., Muller B. Identifying developmental patterns in structured plant phenotyping data. *Methods in Molecular Biology*. 2022;2395:199-225. DOI 10.1007/978-1-0716-1816-5\_10.
15. Дорошенко Т.Н., Дубравина И.В., Захарчук Н.В., Чумаков С.С., Рязанова Л.Г., Максимцов Д.В., Еремина О.В. Биологический потенциал сортов плодовых культур. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина. 2016:1-170.
16. Synder R.L., de Melo-Abreu J.P. Frost protection: fundamentals, practice, and economics. FAO: Rome, Italy. 2015.
17. Lysiak G.P., Kurlus R., Michalska A. Increasing frost resistance of 'Golden Delicious', 'Gala' and 'Šampion' apple cultivars. *Folia Horticulturae*. 2016;28(2):125-135. DOI 10.1515/fhort-2016-0015.
18. Sandor M.E., Aslan C.E., Pejchar L., Bronstein J.L. A Mechanistic framework for understanding the effects of climate change on the link between flowering and fruiting phenology. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2021;9:752110. DOI 10.3389/fevo.2021.752110.
19. Charrier G., Ngao J., Saudreau M., Améglio T. Effects of environmental factors and management practices on microclimate, winter physiology, and frost resistance in trees. *Frontiers in Plant Science*. 2015;6:259. DOI 10.3389/fpls.2015.00259.
20. Unterberger C., Brunner L., Nabernegg S., Steininger K.W., Steiner A.K., Stabentheiner E., Monschein S., Truhetz H. Spring frost risk for regional apple production under a warmer climate. *PLoS One*. 2018;13(7):e0200201. DOI 10.1371/journal.pone.0200201.
21. Zhu Y.S., Yang G., Yang H., Guo L., Xu B., Li Z., Han S., Zhu X., Li Z., Jones G. Forecasting regional apple first flowering using the sequential model and gridded meteorological data with spatially optimized calibration. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022;196:106869. DOI 10.1016/j.compag.2022.106869.
22. Bairam E., Le Morvan C., Delaire M., Buck-Sorlin G. Fruit and leaf response to different source-sink ratios in apple, at the scale of the fruit-bearing branch. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:1039. DOI 10.3389/fpls.2019.01039.
23. Chuine I., Bonhomme M., Legave J.M., Garcia de Cortazar-Atauri I., Charrier G., Lacoite A., Améglio T. Can phenological models predict tree phenology accurately under climate change conditions? Congress of the European Geosciences Union (EGU), DEU, April 2014, Vienna, Austria. 2014;16:12973.
24. Berzaghi F., Wright I.J., Kramer K., Oddou-Muratorio S., Bohn F.J., Reyer C.P., Sabaté S., Sanders T.G., Hartig F. Towards a new generation of trait-flexible vegetation models. *Trends in Ecology & Evolution*. 2019;35(3):191-205. DOI 10.1016/j.tree.2019.11.006.
25. Charrier G., Martin St-Paul N.K., Damesin C., Delpierre N., Hänninen H., Torres-Ruiz J.M., Davi H. Interaction of drought and frost in tree ecophysiology: rethinking the timing of risks. *Annals of Forest Science*. 2021;78:40. DOI 10.1007/S13595-021-01052-5.
26. Mirás-Avalos J.M., Alcobendas R., Alarcón J.J., Pedrero F., Valsesia P., Lescourret F., Nicolás E.N. Combined effects of water stress and fruit thinning on fruit and vegetative growth of a very early-maturing peach cultivar: assessment by means of a fruit tree model. *QualiTree. Irrigation Science*. 2013;31:1039-1051. DOI 10.1007/s00271-012-0385-6.

## References

1. Kichina V.V. Columnar apple trees: Everything about columnar apple trees. M. 2002:1-160 (*in Russian*).
2. Vavilov N.I. Five continents. Krasnov A.N. Under the tropics of Asia. M.: Mysl'. 1987:1-348 (*in Russian*).
3. McGill B.J. A test of the unified neutral theory of biodiversity. *Nature*. 2003;422:881-885. DOI 10.1038/nature01585.
4. Altieri M.A., Nicholls C.I. The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climate Change*. 2017;140:33-45. DOI 10.1007/s10584-013-0909-y.
5. Campbell B.M., Vermeulen S.J., Aggarwal P.K., Corner-Dolloff C., Girvetz E., Loboguerrero A.M., Ramirez-Villegas J., Rosenstock T., Sebastian L., Thornton P.K., Wollenberg E. Reducing risks to food security from climate change. *Global Food Security*. 2016;11:34-43. DOI 10.1016/j.gfs.2016.06.002.
6. Noya I., González-García S., Bacenetti J., Fiala M., Moreira M.T. Environmental impacts of the cultivation-phase associated with agricultural crops for feed production. *Journal of Cleaner Production*. 2018;172:3721-3733. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.07.132.
7. Manko O.M., Meshalkin A.V., Krivov S.I. Ecological foundations of nature management: Textbook. M.: Academia. 2019:1-640 (*in Russian*).
8. Trushina T.P. Ecological foundations of nature management. Rostov-on-Don: Phoenix. 2001:1-384 (*in Russian*).
9. Dragavtseva I.A., Kuznetsova A.P., Savin I.Yu., Prudnikova E.Yu. Ways to ensure the stability of fruiting of fruit crop varieties based on the evaluation of their adaptation potential in changing environmental conditions. *Horticulture and Viticulture*. 2019;(3):34-42. DOI 10.31676/0235-2591-2019-3-34-42 (*in Russian*).
10. Ryndin A.V., Dragavtseva I.A., Mokhno V.S. Compliance of the requirements of peach culture with the environmental conditions of humid subtropics of Russia. *Horticulture and Viticulture*. 2013;1:24-29 (*in Russian*).
11. Kunz A., Blanke M.M. Effects of climate change on fruit tree physiology - based on 55 years of meteorological and phenological data at Klein-Altendorf. *Acta Horticulturae*. 2016;1130:49-54. DOI 10.17660/ActaHortic.2016.1130.7.
12. Adaptive gardening. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I. 2022:1-275 (*in Russian*).
13. Artyukh S.N., Mozhar N.V. Compliance of requirements of the breed, variety (by phases of development) to the qualitative and quantitative parameters of the environment (seed crops). System-forming environmental factors and criteria of zones of sustainable development of fruit growing in the North Caucasus. Krasnodar. 2001:174-197 (*in Russian*).
14. Guédon Y., Caraglio Y., Granier C., Lauri P., Muller B. Identifying developmental patterns in structured plant phenotyping data. *Methods in Molecular Biology*. 2022;2395:199-225. DOI 10.1007/978-1-0716-1816-5\_10.
15. Doroshenko T.N., Dubravina I.V., Zakharchuk N.V., Chumakov S.S., Ryazanova L.G., Maksimov D.V., Eremina O.V. Biological potential of fruit crop varieties. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin. 2016:1-170 (*in Russian*).
16. Synder R.L., de Melo-Abreu J.P. Frost protection: fundamentals, practice, and economics. FAO: Rome, Italy. 2015.
17. Lysiak G.P., Kurlus R., Michalska A. Increasing frost resistance of 'Golden Delicious', 'Gala' and 'Sampion' apple cultivars. *Folia Horticulturae*. 2016;28(2):125-135. DOI 10.1515/fhort-2016-0015.
18. Sandor M.E., Aslan C.E., Pejchar L., Bronstein J.L. A Mechanistic framework for understanding the effects of climate change on the link between flowering and fruiting phenology. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2021;9:752110. DOI 10.3389/fevo.2021.752110.
19. Charrier G., Ngao J., Saudreau M., Améglio T. Effects of environmental factors and management practices on microclimate, winter physiology, and frost resistance in trees. *Frontiers in Plant Science*. 2015;6:259. DOI 10.3389/fpls.2015.00259.
20. Unterberger C., Brunner L., Nabernegg S., Steininger K.W., Steiner A.K., Stabentheiner E., Monschein S., Truhetz H. Spring frost risk for regional apple production under a warmer climate. *PLoS One*. 2018;13(7):e0200201. DOI 10.1371/journal.pone.0200201.
21. Zhu Y.S., Yang G., Yang H., Guo L., Xu B., Li Z., Han S., Zhu X., Li Z., Jones G. Forecasting regional apple first flowering using the sequential model and gridded meteorological data with spatially optimized calibration. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022;196:106869. DOI 10.1016/j.compag.2022.106869.
22. Baïram E., Le Morvan C., Delaire M., Buck-Sorlin G. Fruit and leaf response to different source-sink ratios in apple, at the scale of the fruit-bearing branch. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:1039. DOI 10.3389/fpls.2019.01039.
23. Chuine I., Bonhomme M., Legave J.M., Garcia de Cortazar-Atauri I., Charrier G., Lacoïnte A., Améglio T. Can phenological models predict tree phenology accurately under climate change conditions? Congress of the European Geosciences Union (EGU), DEU, April 2014, Vienna, Austria. 2014;16:12973.
24. Berzaghi F., Wright I.J., Kramer K., Oddou-Muratorio S., Bohn F.J., Reyer C.P., Sabaté S., Sanders T.G., Hartig F. Towards a new generation of trait-flexible vegetation models. *Trends in Ecology & Evolution*. 2019;35(3):191-205. DOI 10.1016/j.tree.2019.11.006.
25. Charrier G., Martin St-Paul N.K., Damesin C., Delpierre N., Hänninen H., Torres-Ruiz J.M., Davi H. Interaction of drought and frost in tree ecophysiology: rethinking the timing of risks. *Annals of Forest Science*. 2021;78:40. DOI 10.1007/S13595-021-01052-5.
26. Mirás-Avalos J.M., Alcobendas R., Alarcón J.J., Pedrero F., Valsesia P., Lescouret F., Nicolás E.N. Combined effects of water stress and fruit thinning on fruit and vegetative growth of a very early-maturing peach cultivar: assessment by means of a fruit tree model. *QualiTree. Irrigation Science*. 2013;31:1039-1051. DOI 10.1007/s00271-012-0385-6.

## Информация об авторах

**Дмитрий Валериевич Потанин**, канд. с.-х. наук, доцент кафедры плодовоовощеводства и виноградарства; e-мэйл: potanin.07@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3724-8758>;

**Маргарита Игоревна Иванова**, начальник отдела организации учета применения средств химизации и разработки проектно-сметной документации; e-мэйл: imi\_2712@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3749-9525>.

## Information about authors

**Dmitry V. Potanin**, Cand. Agric. Sci., Associate Professor of the Department of Horticulture and Viticulture; e-mail: potanin.07@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3724-8758>;

**Margarita I. Ivanova**, Head of the Department for organization of accounting for the use of chemicals and development of design and estimate documentation; e-mail: imi\_2712@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3749-9525>.

Статья поступила в редакцию 27.07.2022, одобрена после рецензии 22.08.2022, принята к публикации 30.08.2022.