

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ЦВЕТЕНИЯ ДИКОГО НУТА С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

© 2021 г. А.Ю. Агеев\*, Э.Дж. Бишоп-фон Веттберг\*\*, С.В. Нуждин\*, \*\*\*,  
М.Г. Самсонова\*, К.Н. Козлов\*

\*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

\*\*Университет Вермонта, 05405, Берлингтон, США

\*\*\*Университет Южной Калифорнии, 90089, Лос-Анжелес, США

E-mail: kozlov\_kn@spbstu.ru

Поступила в редакцию 20.11.2020 г.

После доработки 20.11.2020 г.

Принята к публикации 27.11.2020 г.

Точный прогноз времени цветения помогает селекционерам создавать новые сорта, которые могут достичь максимальной эффективности в условиях меняющегося климата. На основе построенной ранее модели проведено сравнение влияния ежедневных погодных факторов на время цветения образцов дикого нута, собранных в различных географических точках Турции. Обнаружено, что растения из высокогорных районов адаптированы к более низким температурам и длинному дню, чем собранные на меньших высотах. С использованием модели и прогнозов изменения климата в виде сгенерированной программным обеспечением «МаркСим» ежедневной погоды в Анкаре построены прогнозы изменения времени цветения для исследуемых образцов. Средняя длина периода «посев–цветение» для временных интервалов 2020–2039 гг., 2040–2059 гг. и 2060–2080 гг. изменилась для 21 сочетания сценария развития и места сбора. Это составляет примерно половину от 40 случаев, что говорит об умеренном влиянии изменения климата на время цветения исследуемых образцов дикого нута.

*Ключевые слова:* климатические факторы, нут, математическое моделирование.

DOI: 10.31857/S0006302921010142

Нут (наиболее известный вид — *Cicer arietinum* L.) — одна из важнейших зернобобовых культур, которая выращивается более чем в 50 странах мира. Нут имеет особое значение для обеспечения продовольственной безопасности в развивающихся странах, где семена нута являются основным источником пищевого белка [1]. Дикая нут *Cicer reticulatum* представляет собой растение длинного дня и проявляет чувствительность к яровизации [2, 3]. Одомашнивание привело к широкому распространению на ранних этапах истории генотипов, пригодных для весеннего посева, в результате чего сильно пострадало генетическое разнообразие [3, 4].

Температурный режим, доступность воды, продолжительность светового дня и другие факторы устанавливают предел времени для достижения нутом репродуктивной фазы [2, 5]. Для достижения стабильного урожая продолжительность роста должна точно соответствовать доступному вегетационному периоду [6]. Селекция нута была сосредоточена на выведении сор-

тов, различающихся по продолжительности роста, чтобы иметь возможность адаптироваться к разным широтам и режимам посева [3, 7–9].

Изменение климата, возникающее в результате увеличения выбросов парниковых газов, в настоящее время оказывает все более сильное воздействие на выращивание культурных растений, в том числе и нута, из-за комбинированного воздействия более высоких температур, меньшего количества доступной воды в регионах, где это больше всего необходимо, и более частых и интенсивных экстремальных погодных явлений [10].

Математические модели бобовых культур SSM [11, 12], DSSAT [13–17], APSIM [18], и др. [19, 20] основаны на описании биофизических и биохимических процессов, таких как фотосинтез, поглощение воды и т. д., с помощью дифференциальных уравнений. Влияние погодных условий на ежесуточную скорость перехода к следующей фенологической фазе количественно характеризуется с использованием таких понятий, как индекс

тепловых единиц (HUI) [20], единицы тепла (CHI), тепловые дни (DD) или биологические дни (BD) [21]. И DD, и BD могут зависеть от температуры, содержания воды и фотопериода. Использование существующих моделей ограничено необходимостью значительных манипуляций, необходимых для адаптации к новым условиям и сортам [22–26]. Следовательно, высок спрос на новые гибкие модели культур, которые могут адаптироваться к постоянно меняющимся сортам.

Недавнее сравнение моделей сельскохозяйственных культур в рамках Проекта взаимного сравнения и улучшения сельскохозяйственных моделей (AgMIP) [27, 28] показало, что одной модели недостаточно для прогнозирования изменения климата из-за возрастающей неопределенности прогнозов моделей с повышенными будущими температурами [29, 30]. Следовательно, необходимы исследования с использованием ансамблей моделей сельскохозяйственных культур, которые дают ценную информацию о точности и неопределенности моделей.

В этой работе мы использовали модель времени цветения дикого нута, построенную ранее [31], для исследования зависимости влияния ежедневных погодных факторов на время цветения от места сбора образцов. Мы также использовали построенный ранее ансамбль моделей [31] для прогнозирования времени до цветения на 2020–2080 гг., используя сгенерированные данные по суточной погоде в Турции.

#### ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Коллекция образцов дикого нута видов *Cicer reticulatum* L. и *Cicer echinospermum* была собрана в 21 географической точке вокруг десяти населенных пунктов в пяти регионах Турции Э. фон Веттерберг с коллегами [32]. Набор данных охватывает большой градиент высот, так что популяции *C. echinospermum* обычно встречаются на более низких высотах, чем *C. reticulatum*, при этом температуры выше, а количество осадков в среднем ниже на низких участках по сравнению с более высокими. Три наиболее восточных и высокогорных участка отличаются самыми низкими среднемесячными температурами (от  $-4.8$  до  $-2.2^\circ\text{C}$  по сравнению с  $-2.2$  до  $-0.6^\circ\text{C}$ ) зимой, а весной на этих участках чаще бывают заморозки в вегетационный период. Фенотипические данные для 2174 образцов были получены в ходе полевых экспериментов в Шанлыурфе и Анкаре, Турция, с посевом в 290, 294 или 339 сутки года. Время цветения для этого набора данных колеблется от 117 до 221 суток. Данные для анализа были объединены в 10 групп по населенным пунктам: Эгил (Egil), Бешевлер (Besevler), Джуди (Cudi), Кешен-

таш (Kesentas), Баристепе (Baristepe), Калкан (Kalkan), Оялы (Oyali), Каятепе (Kayatepe), Сирнак (Sirnak) и Сарыкая (Sarikaya).

Данные о климатических условиях на каждый день в период полевых экспериментов взяты с общедоступного сайта «Радар погоды» ([https://rp5.ru/Weather\\_in\\_the\\_world](https://rp5.ru/Weather_in_the_world)) и проекта POWER исследовательского центра NASA в Лэнгли (LaRC) [33]. Были задействованы следующие параметры:  $D$  – длина светового дня,  $T_n$  – минимальная температура,  $T_x$  – максимальная температура,  $P$  – количество осадков,  $S$  – солнечное излучение.

#### МОДЕЛЬ ДЛИНЫ ПЕРИОДА «ПОСЕВ–ЦВЕТЕНИЕ»

В данной работе мы воспользовались моделью, построенной ранее с помощью метода грамматической и разностной эволюции [31]. Модель описывает время цветения в зависимости от ежедневных погодных факторов:

$$v(i, t) = 4.92F_0 + 7.88F_1 + 2.59F_2 + 1.13F_3 + 9.35F_4,$$

где  $F_0 = T_n/S$ ,  $F_1 = T_n - 13.5616$ ,  $F_2 = D - 7.2458$ ,  $F_3 = T_n/(D(T_x - 19.6387))$ ,  $F_4 = 1/(T_n - 3.5616)$ .

Данная модель с оптимизированными параметрами описывает данные обучения и проверки с коэффициентом корреляции Пирсона, равным приблизительно 0.98.

Используемая модель аналогична разработанной в работе [12] из-за отсутствия зависимости от осадков в период посева-цветения и возможности оценки накопления ресурсов. В модели [12] используется линейная функция для интервала «посев–всходы» и мультипликативная – для интервала от всходов до цветения. Используемая модель представляет собой комбинацию двух типов функций для интервала «посев–цветение». Преимуществами нашей модели являются автоматически построенная аналитическая форма функциональной зависимости.

Для получения более надежных прогнозов изменения времени цветения в условиях изменения климата в 2020–2080 гг. мы воспользовались ансамблем из восьми моделей, построенным ранее методом «бутстрап» [31]. Вкратце: была выполнена адаптация модели для  $B = 500$  наборов данных, полученных из исходного набора выборкой с повторениями. Аналитическая форма климатических управляющих функций была зафиксирована. В ансамбль были отобраны восемь моделей, имеющие высокую точность, среднее отклонение модельного решения от экспериментальных данных составляет менее шести суток.

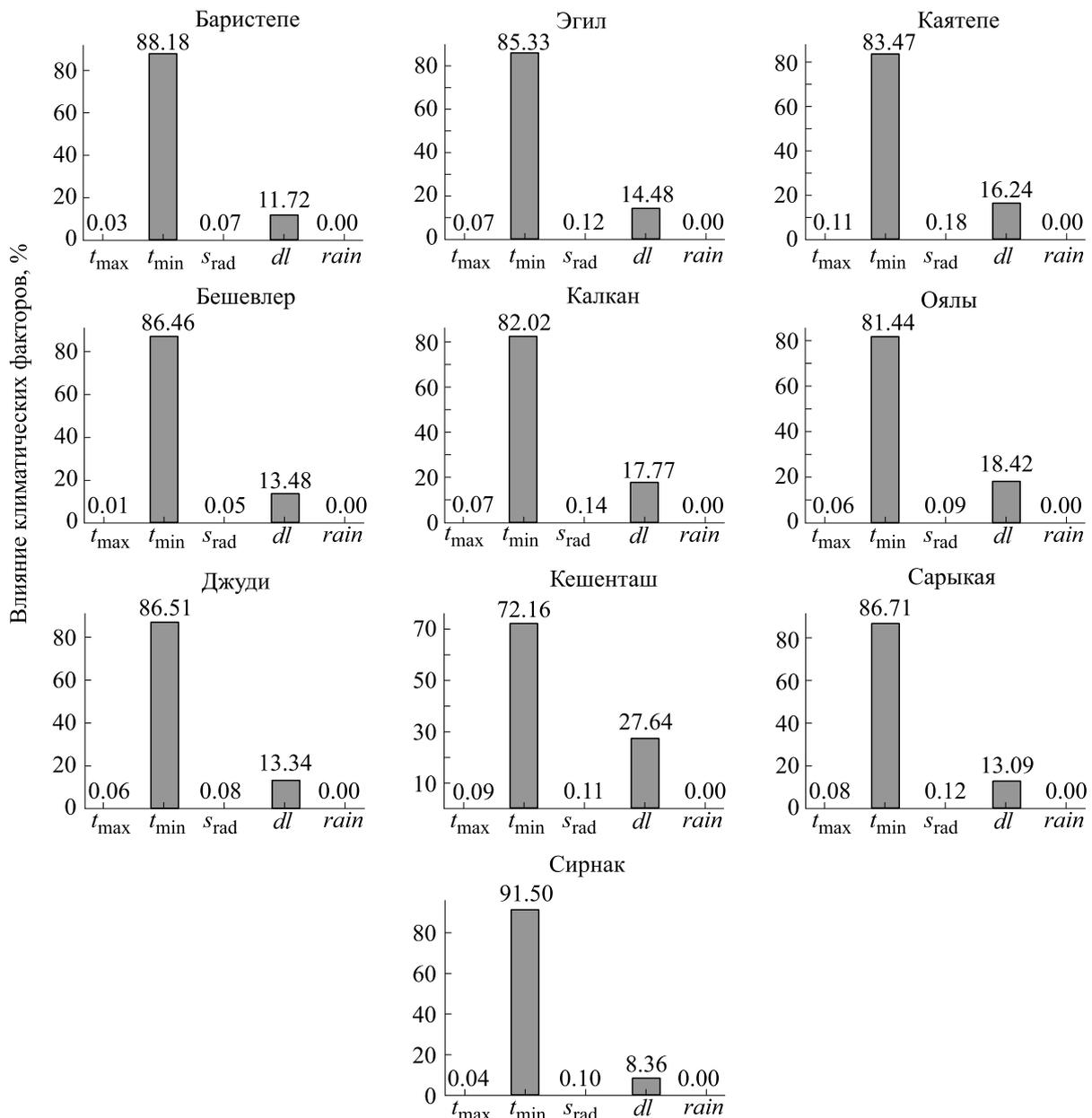


Рис. 1. Влияние климатических факторов на время цветения диких видов нута в различных географических пунктах.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛИ ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ВРЕМЯ ЦВЕТЕНИЯ

Анализ вклада климатических факторов  $T_x$ ,  $T_n$ ,  $P$ ,  $S$  и  $D$  в изменение времени цветения был проведен с помощью теста пермутации. Суть метода состоит в том, чтобы переставить данные интересующего фактора между датами и проанализировать изменение ошибки. Таким образом, влияние климатического фактора представляет собой увеличение средней ошибки по всем перестановкам. Затем воздействия нормализуются и

преобразуются в проценты по всем факторам (см. рис. 1).

В большинстве групп влияние длины дня колеблется между 11.72 и 18.42%, а минимальной температуры — между 81.44 и 88.18% соответственно. Однако для группы «Кешенташ» влияние минимальной температуры оказалось значительно меньше, а длины дня — больше, 72.16 и 27.64% соответственно. Противоположный результат получен для группы «Сирнак»: влияние температуры — 91.50%, а длины дня — только 8.36% (см. рис. 1).

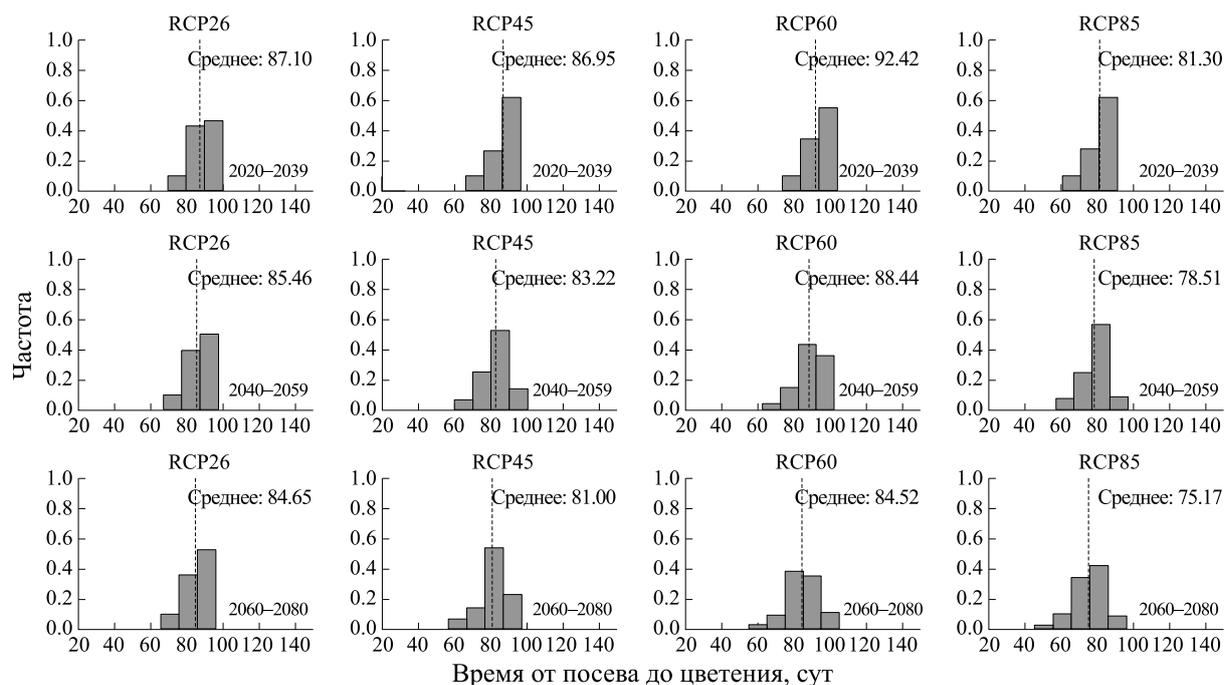


Рис. 2. Прогноз времени цветения нута в Баристепе для четырех характерных профилей концентрации углекислого газа – гср26, гср45, гср60 и гср85 соответственно.

Такие результаты могут быть обусловлены значительной разницей в высоте над уровнем моря, которая составляет 891 м и 1659 м для Кешенташа и Сирнака соответственно. Растения высокогорных районов лучше адаптированы к более низким температурам и длинному дню, чем собранные на меньших высотах.

### ПРОГНОЗЫ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Ежедневные прогнозы погоды в 30 повторах для Анкары (Турция) с 2020 по 2080 гг. были составлены с использованием программы-генератора погоды MarkSim [34–38]. Были учтены социально-экономические сценарии развития, которые описываются четырьмя характерными профилями концентрации углекислого газа (Representative Concentration Pathways, RCPs), принятыми IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change – Межправительственная группа экспертов по изменению климата) для пятого оценочного отчета (Assessment Report, AR5) в 2014 г. Профили соответствуют широкому кругу возможных изменений будущих антропогенных выбросов парниковых газов и называются гср26, гср45, гср60 и гср85 в соответствии с возможными значениями нарушения радиационного баланса Земли в 2100 г. относительно прединдустриальной эры (+2.6, +4.5, +6.0 и +8.5 Вт/м<sup>2</sup> соответственно) [39].

Наиболее безопасный сценарий (благодаря предлагаемым природоохранным мероприятиям) называется RCP26, а RCP85 – наиболее опасный

сценарий, в то время как RCP45 и RCP60 находятся между этими крайностями. Следуя работе [40], мы использовали модели GFDL-ESM2M [41] и HadGEM2-ES [42] для прогноза климата в Анкаре.

Между 2020 и 2099 гг. ожидается повышение максимальной температуры: для RCP26 – на 0.7°C, RCP45 – на 1.5°C, RCP60 – 2.5°C, RCP85 – 5.0°C. Минимальная температура увеличится: для RCP26 – на 0.5°C, RCP45 – 1.0°C, для RCP60 – 1.5°C, RCP85 – 2.5°C.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛИ

Для исследования влияния изменения климата на изменение времени цветения нута мы провели моделирование с использованием сгенерированных ежедневных климатических факторов и ансамбля из восьми моделей, которые были получены ранее [31]. Результаты в виде прогноза числа дней от посева до цветения для каждой группы рассматривались отдельно для каждого сценария изменения климата на трех интервалах: с 2020 по 2039 гг., с 2040 по 2059 гг. и с 2060 по 2080 гг. Распределения времени цветения на каждом интервале характеризуются гистограммами и средним значением в днях.

Такое представление результатов позволяет нивелировать за счет усреднения влияние колебаний, вызванных стохастичностью процесса генерации климатических факторов, и выявить долгосрочные тенденции (см. рис. 2–11).

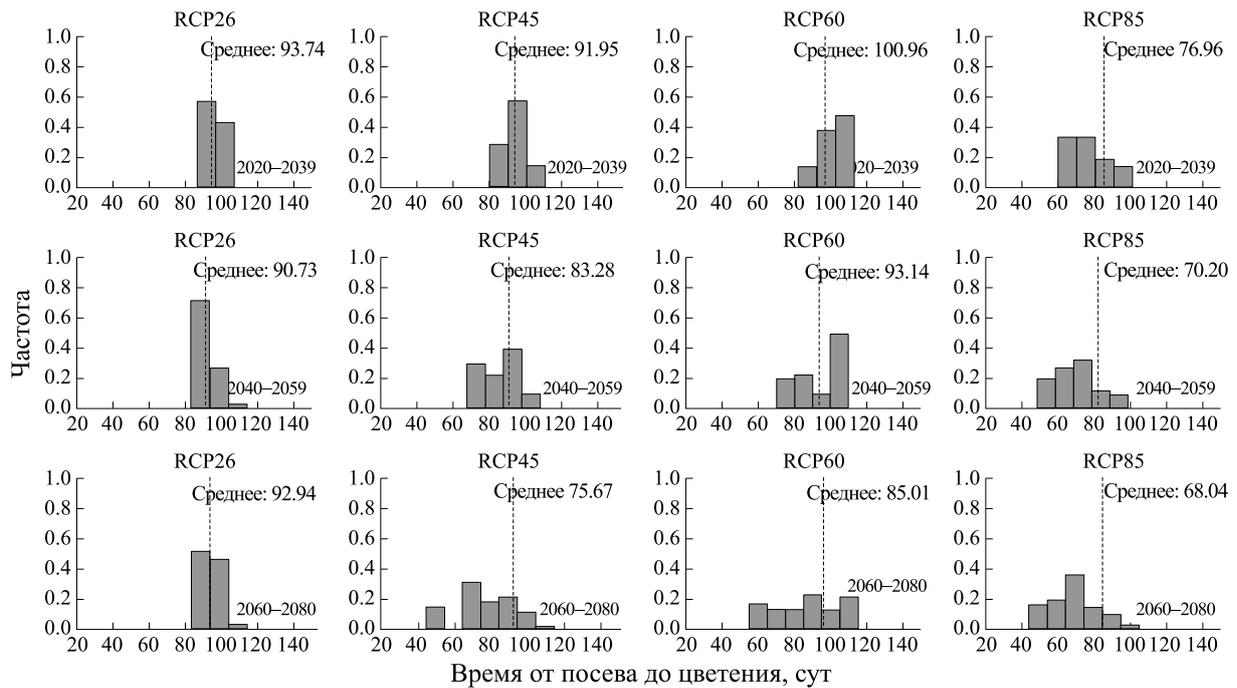


Рис. 3. Прогноз времени цветения нута в Бешевлере для четырех характерных профилей концентрации углекислого газа – гср26, гср45, гср60 и гср85 соответственно.

Средняя длина периода «посев–цветение» для исследованных временных интервалов изменилась для 21 сочетания сценария развития и места сбора, что составляет примерно половину от

40 случаев. Заметных изменений среднего времени цветения для сценария RCP26 не зафиксировано. Небольшие изменения времени цветения фиксируются для сценария RCP45 и групп

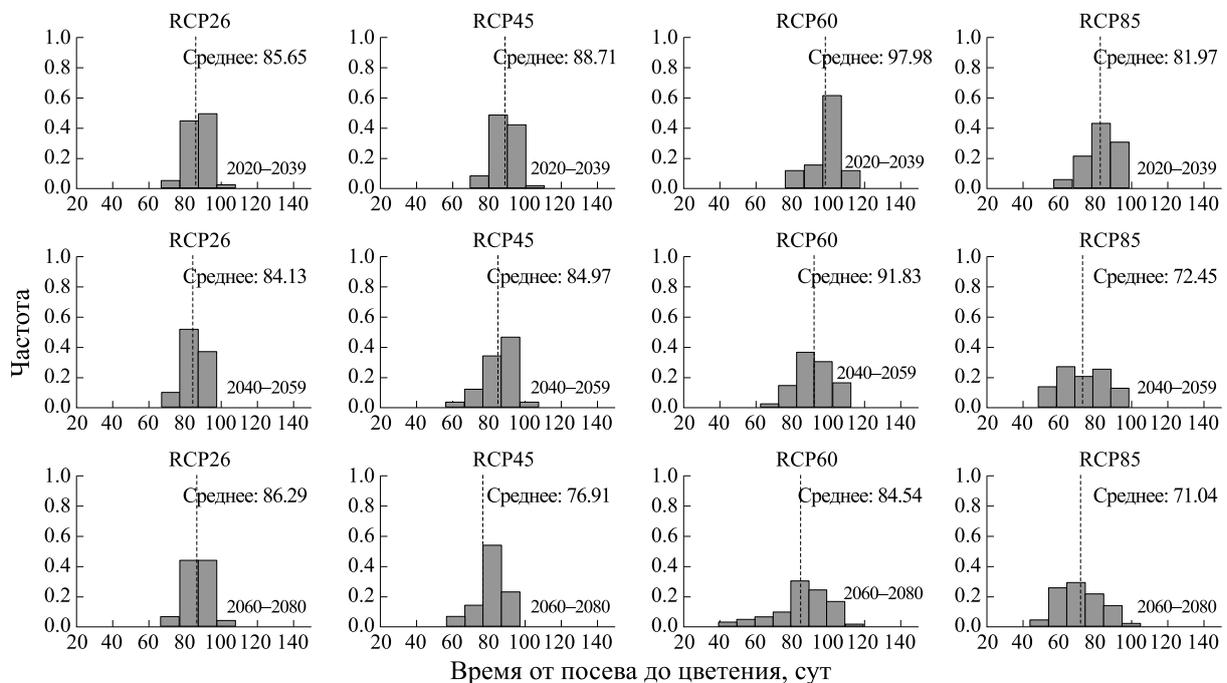


Рис. 4. Прогноз времени цветения нута в Джуди для четырех характерных профилей концентрации углекислого газа – гср26, гср45, гср60 и гср85 соответственно.

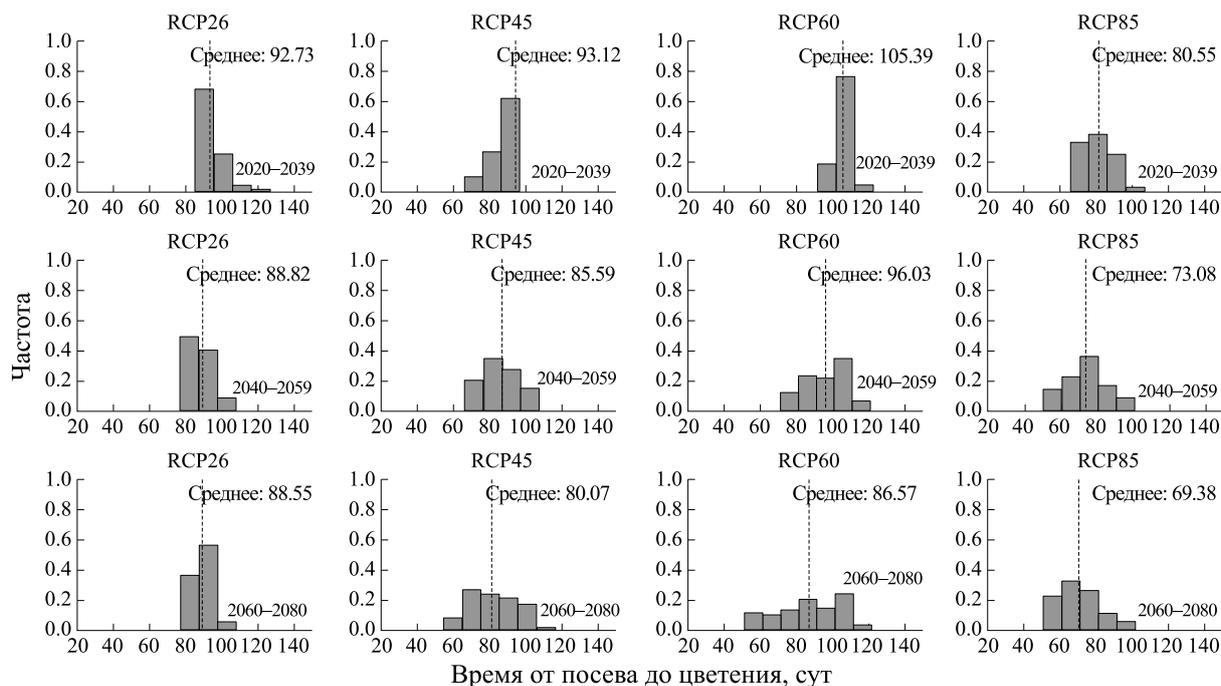


Рис. 5. Прогноз времени цветения нута в Эгипте для четырех характерных профилей концентрации углекислого газа — rcp26, rcp45, rcp60 и rcp85 соответственно.

«Эгил», «Бешевлер», «Джуди», для сценария RCP60 и групп «Кешенташ», «Бешевлер», «Калкан», «Оялы», «Джуди», «Каятепе» и «Сарыкая», а для сценария RCP85 — во всех группах.

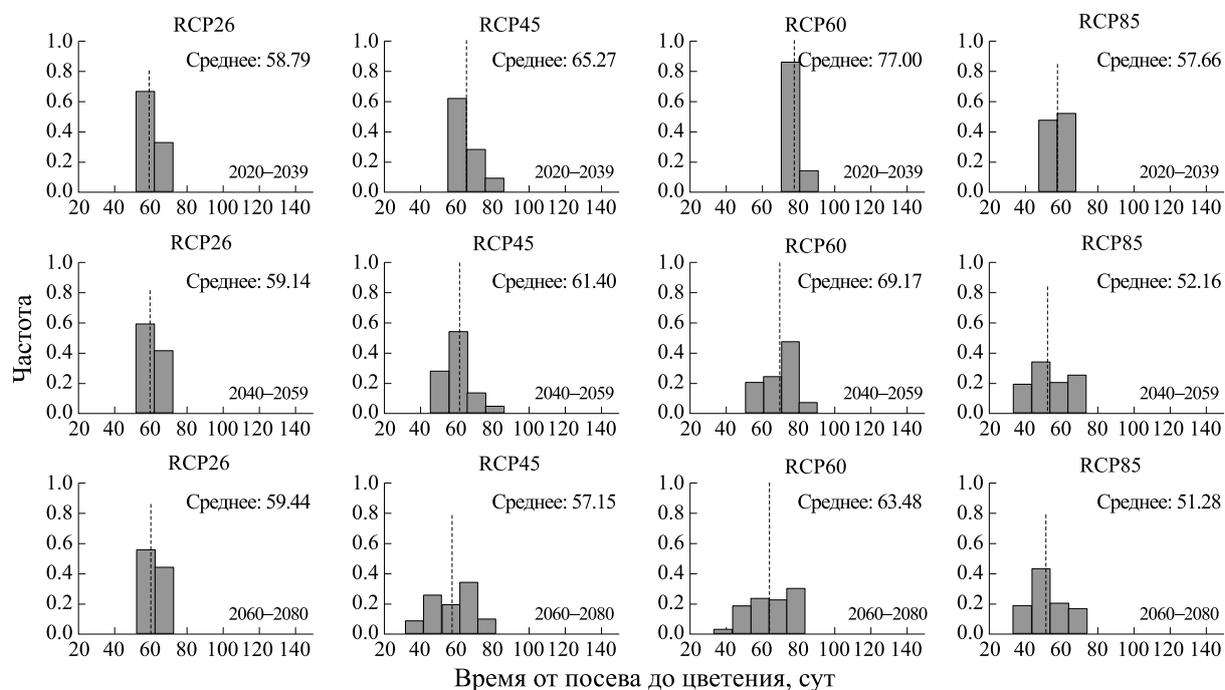


Рис. 6. Прогноз времени цветения нута в Калкане для четырех характерных профилей концентрации углекислого газа — rcp26, rcp45, rcp60 и rcp85 соответственно.

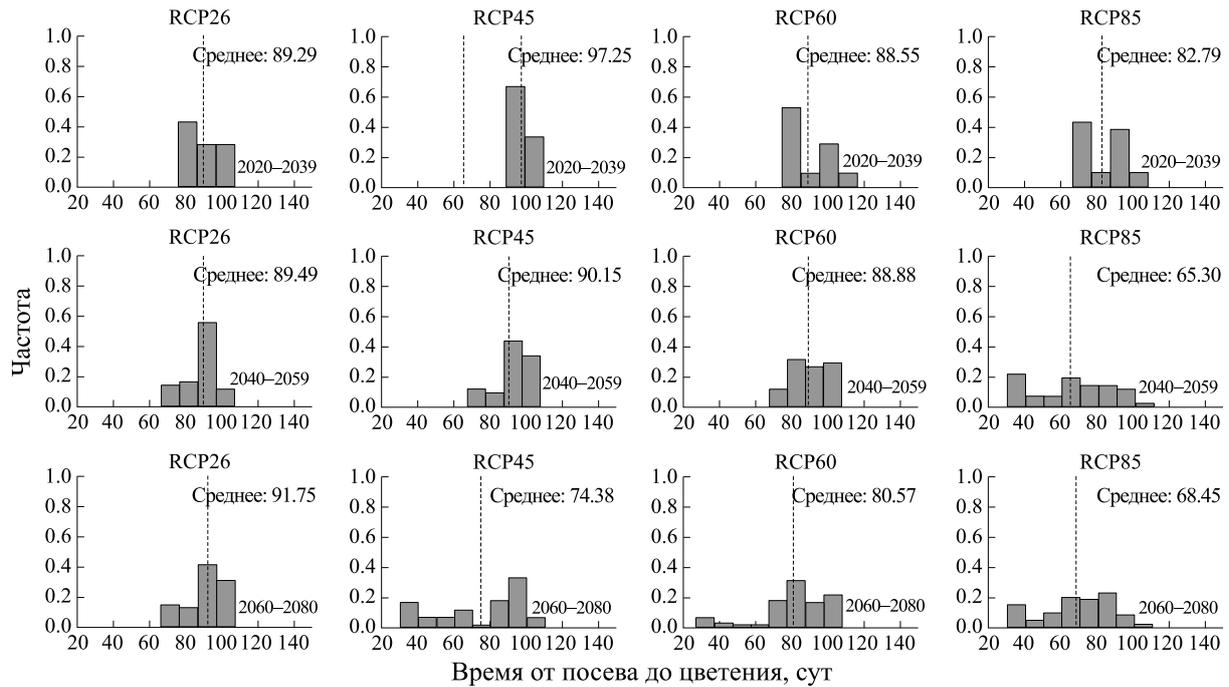


Рис. 7. Прогноз времени цветения нута в Каятепе для четырех характерных профилей концентрации углекислого газа — rcp26, rcp45, rcp60 и rcp85 соответственно.

Более заметное сокращение среднего времени для достижения цветения фиксируется для сценария RCP45 в группах «Сирнак» и «Каятепе»,

для сценария RCP60 — в группах «Сирнак» и «Эгил», также в группе «Каятепе» сильные изменения происходят с учетом сценария RCP85.

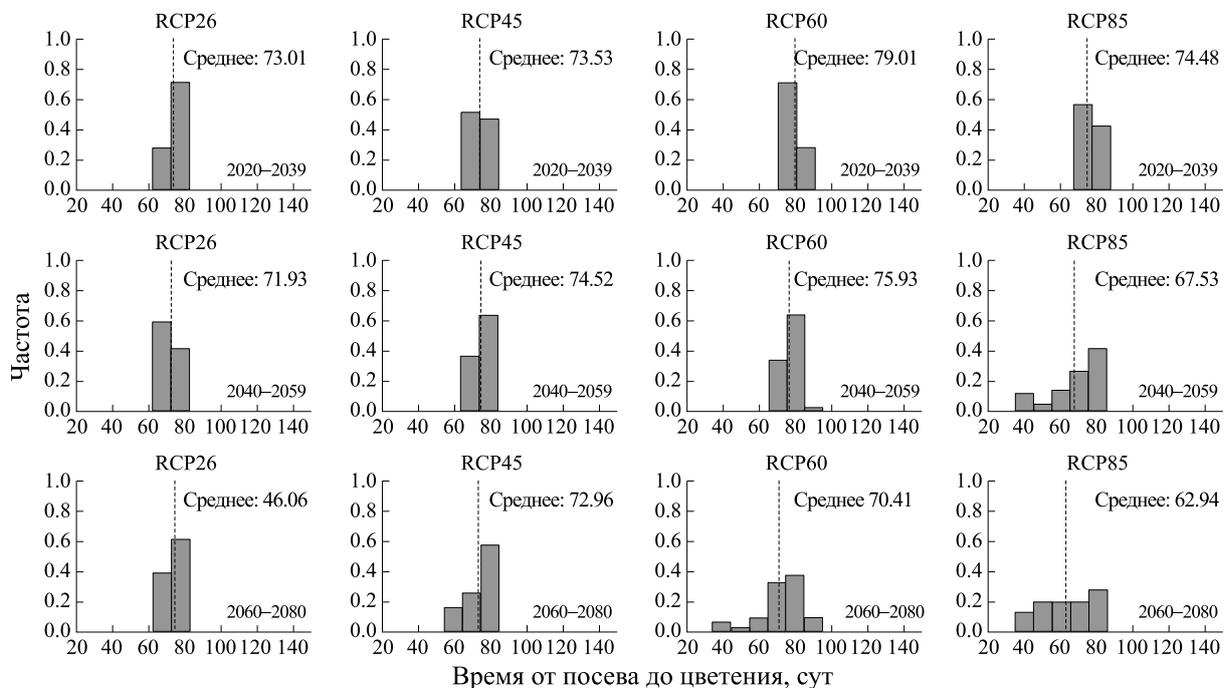


Рис. 8. Прогноз времени цветения нута в Кешенташе для четырех характерных профилей концентрации углекислого газа — rcp26, rcp45, rcp60 и rcp85 соответственно.

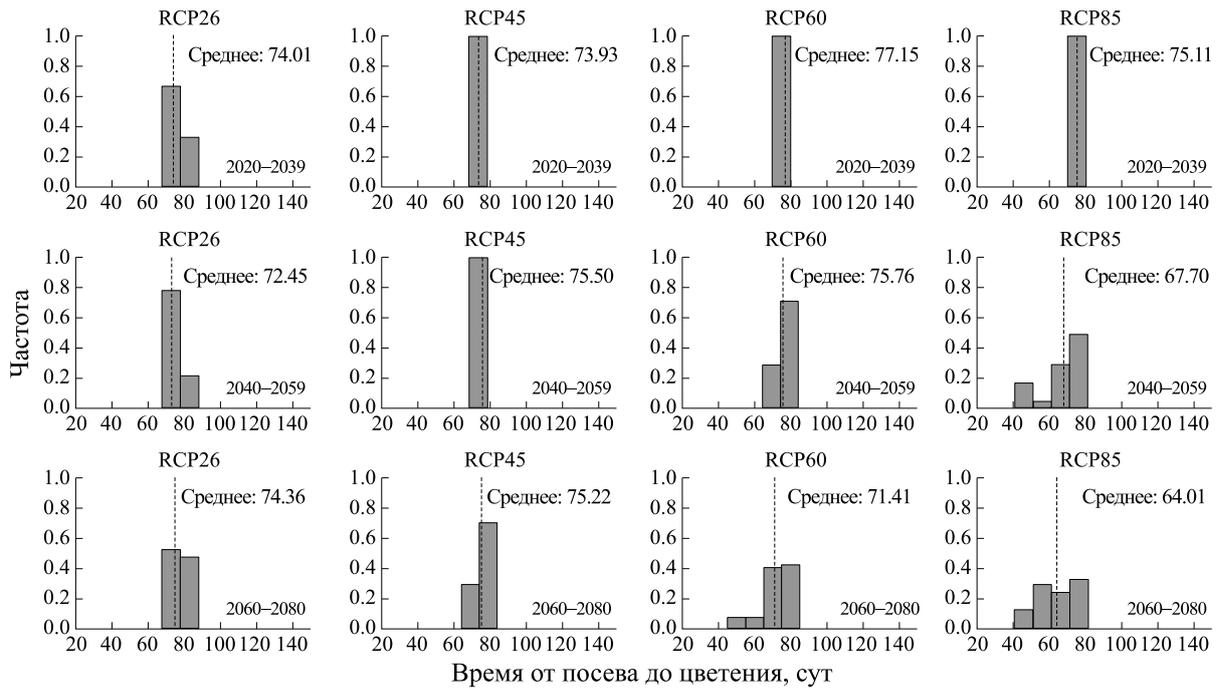


Рис. 9. Прогноз времени цветения нута в Оялы для четырех характерных профилей концентрации углекислого газа – rcp26, rcp45, rcp60 и rcp85 соответственно.

Такие результаты, скорее всего, объясняются увеличением влияния антропогенных факторов на изменение климата в сценариях от RCP26 до

RCP85. При этом заметное снижение среднего времени цветения в группе «Сирнак» уже в сценарии RCP45 может объясняться повышенной чув-

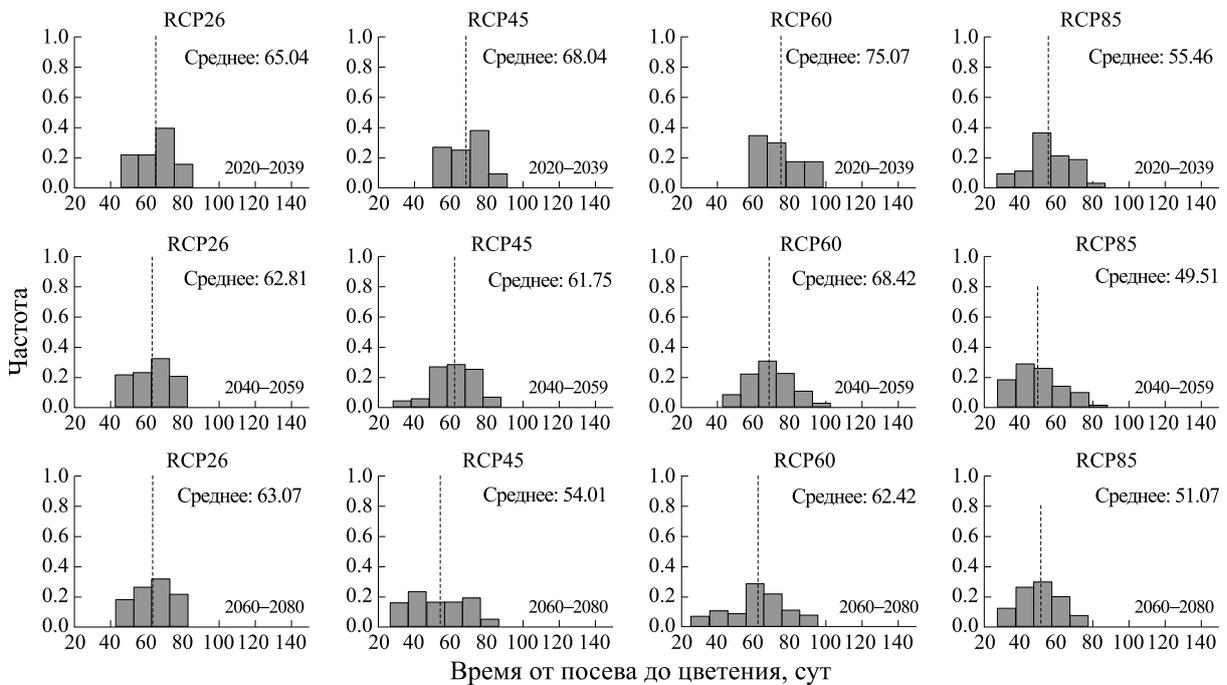


Рис. 10. Прогноз времени цветения нута в Сарыкая для четырех характерных профилей концентрации углекислого газа – rcp26, rcp45, rcp60 и rcp85 соответственно.

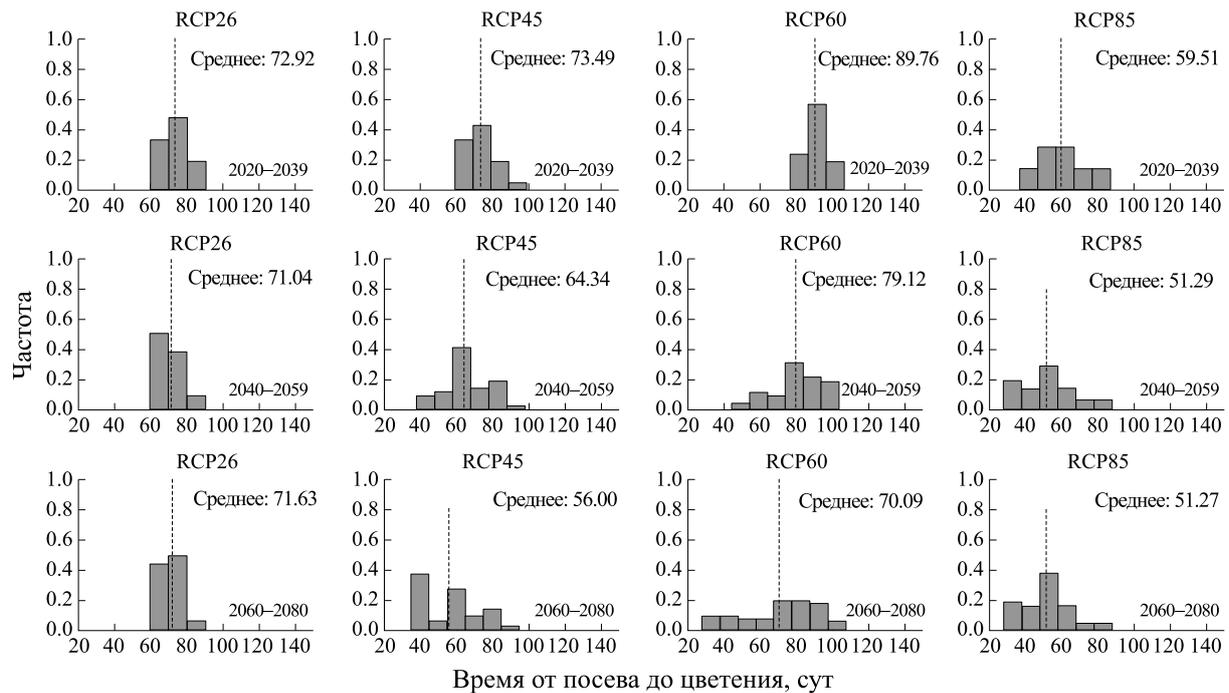


Рис. 11. Прогноз времени цветения нута в Сирнаке для четырех характерных профилей концентрации углекислого газа – rcp26, rcp45, rcp60 и rcp85 соответственно.

ствительностью к минимальной температуре (см. рис. 1).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Использование математических моделей для прогнозирования хозяйственно ценных характеристик растений, таких как длины периодов между такими фенологическими фазами, как посев и цветение должно являться научной основой селекционного улучшения сортов в условиях глобальных изменений климата.

В данной работе была рассмотрена построенная ранее модель времени цветения дикого нута, которая использует новейшие подходы математического моделирования, такие как стохастическая оптимизация и грамматическая эволюция. Расчеты по имеющимся экспериментальным данным показали высокую точность моделирования.

Жизненный цикл нута и его фенология в значительной степени определяются географическим происхождением и местными экологическими факторами [9]. Понимание роли температуры и продолжительности дня в адаптации к различным типам среды обитания все еще неполное [43]. Результаты моделирования показали различное влияние минимальной температуры и длины дня на время цветения для групп из раз-

личных географических точек, что поддерживает гипотезу об адаптации к окружающей среде в местах отбора проб. Такое разнообразие реакций на климатические факторы у разных генотипов может быть полезным для программ селекции, нацеленных на разные среды.

Мы использовали прогнозы погоды генератора MarkSim для Анкары на каждый год с 2020 по 2080 гг. и для четырех репрезентативных профилей концентрации углекислого газа (RCP), чтобы предсказать время до цветения для десяти групп с использованием ансамбля моделей. Ускорение наступления цветения можно объяснить потеплением климата и сокращением продолжительности вегетационного периода за счет увеличения суммарного испарения [43]. Значительные различия в реакции сельскохозяйственных культур на климат в будущем были описаны в предыдущих исследованиях для Южной Азии и Восточной Африки [44].

## ВЫВОДЫ

Наши результаты подтверждают влияние географического места происхождения на фенологию нута и одновременно разнообразие поведения групп, происходящих из близко расположенных мест. Время до цветения сокращено в построенных прогнозах на 2020–2080 гг. и при

изменении климата. Хотя в прогнозах есть общие тенденции, некоторые группы имеют четкие траектории. Фенотипическое разнообразие дикого нута можно использовать в программах селекции для получения сортов с желаемым временем цветения.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность А. Кахраману, А. Айдогану, Д. Куку, А. Сингх, Й. Бергеру и М. Вишняковой. Вычисления были проведены в Суперкомпьютерном центре «Поли-технический» СПбПУ.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда № 16-16-00007.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Настоящая работа не содержит описания исследований с использованием людей и животных в качестве объектов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- R. K. Varshney, C. Song, R. Saxena, et al., *Nature Biotechnol.* **31** (3), 9.2 (2013).
- J. Smithson, J. Thompson, and R. Summerfield, in *Grain Legume Crops*, Ed. by R. Summerfield and R. Roberts (Collins, London, UK, 1985), pp. 312–390.
- S. Abbo, J. Berge, and N. Turner, *Function. Plant Biol.* **30** (2003).
- J. Kumar and S. Abbo, *Adv. Agron.* **72**, 107 (2001).
- E. Roberts, P. Hadley, and R. Summerfield, *Ann. Botany* **55** (6), 881 (1985).
- R. H. Ellis, R. J. Lawn, R. J. Summerfield, et al., *Exp. Agriculture* **30** (3), 271 (1994).
- H. D. Upadhyaya, D. Bajaj, S. Das, et al., *Plant Mol. Biol.* **89** (4), 403 (2015).
- V. Kumar, A. Singh, S. V. A. Mithra, et al., *DNA Research* **22** (2), 133 (2015).
- J. Berger, S. Milroy, N. Turner, et al., *Euphytica* **180**, 1 (2011).
- X. Zhang and X. Cai, *Environ. Res. Lett.* **6** (1), 014014 (2011).
- A. Soltani, G. Hammer, B. Torabi, et al., *Field Crops Res.* **99** (1), 1 (2006).
- A. Soltani, M. Robertson, Y. Mohammad-Nejad, and A. Rahemi-Karizaki, *Field Crops Res.* **99** (1), 14 (2006).
- J. W. Jones, J. M. Antle, B. Basso, et al., *Agricult. Syst.* **155**, 269 (2017).
- J. W. Jones, J. M. Antle, B. Basso, et al., *Agricult. Syst.* **155**, 240 (2016).
- J. Jones, G. Hoogenboom, C. Porter, et al., *Eur. J. Agronomy* **18** (3–4), 235 (2003).
- K. J. Boote, J. Jones and N. Pickering, *Agronomy J.* **88**, 704 (1996).
- K. J. Boote, J. W. Jones, J. W. White, et al., *Plant Cell Environ* **36**, 1658 (2013).
- B. Keating, P. Carberry, G. Hammer, et al., *Eur. J. Agronomy* **18**, 267 (2003).
- R. Battisti, P. C. Sentelhas, and K. J. Boote, *Int. J. Biometeorol.* **62** (5), 823 (2018).
- J. R. Williams, C. A. Jones, J. R. Kiniry, and D. A. Spanel, *Trans. ASAE* **32** (2), 497 (1989).
- V. Vadez, A. Soltani, and T. Sinclair, *Field Crops Res.* **146**, 1 (2013).
- M. Lal, K. Singh, G. Srinivasan, et al., *Agricult. Forest Meteorol.* **93** (1), 53 (1999).
- U. Chung, K. Yu, B. S. Seo and M. C. Seo, *Agrotechnology*, **6** (2), 1000158 (2017).
- A. Mohammed, T. Tana, P. Singh, et al., *Agricult. Water Management* **194**, 68 (2017).
- D. Patil and Patel, *Int. J. Agricult. Sci.* **9** (27), 4342 (2017).
- J. Urgaya, *Pet. Environ. Biotechnol.* **7**, 288 (2016).
- C. Rosenzweig, J. Jones, J. Hatfield, et al., *Agricult. Forest Meteorol.* **170**, 166 (2013).
- S. Asseng, F. Ewert, C. Rosenzweig, et al., *Nature Climate Change* **3** (9), 827 (2013).
- P. Martre, D. Wallach, S. Asseng, et al., *Global Change Biol.* **21** (2), 911 (2015).
- S. Asseng, F. Ewert, P. Martre, et al., *Nature Climate Change* **5** (2), 143 (2015).
- A. Ageev, A. Aydogan, E. J. von Wettberg, et al., *Comput. Electron. Agriculture* (submitted).
- E. J. von Wettberg, P. L. Chang, F. Basdemir, et al., *Nature Commun.* **9** (1), (2018).
- P. W. Stackhouse, R. Perez, M. Sengupta, et al., In *Proc. Solar 2016 Conf. Int. Solar Energy Soc.* (San Francisco, 2016), pp. 1–6.
- M. Srinivasa Rao, P. Swathi, C. A. Rama Rao, et al., *PLoS One* **10** (2), e0116762 (2015).
- P. Jones and P. Thornton, *Agricult. Forest Meteorol.* **86** (1–2), 127 (1997).
- P. Jones and P. Thornton, *Agricult. Forest Meteorol.* **97** (3), 213 (1999).
- P. G. Jones and P. K. Thornton, *Agronomy J.* **92**, 9 (2000).
- P. G. Jones and A. L. Jones, *Centro Internacional de Agricultura Tropical MarkSim: A computer tool that generates simulated weather data for crop modeling and risk assessment* (2002).

39. D. P. van Vuuren, J. Edmonds, M. Kainuma, et al., *Climatic Change* **109** (1–2), 5 (2011).
40. M. Demircan, G. H. Gurkan, O. Eskioglu, et al., *Turk. J. Water Sci. Management* **1** (1), 22 (2017).
41. J. P. Dunne, J. G. John, E. Shevliakova, et al., *J. Climate* **26** (7), 2247 (2013).
42. W. Collins, N. Bellouin, M. Doutriaux-Boucher, et al., *Geosci. Model Dev.* **4**, 1051 (2011).
43. V. Vadez, J. D. Berger, T. Warkentin, et al., *Agronomy for Sustainable Development* **32** (1), 31 (2012).
44. P. Singh, S. Nedumaran, K. Boote, et al., *Eur. J. Agronomy* **52**, 123 (2014).

## Forecasting the Timing of Floral Initiation in Wild Chickpeas under Climate Change

A.Yu. Ageev\*, E.J. Bishop-von Wettberg\*\*, S.V. Nuzhdin\*, \*\*\*, M.G. Samsonova\*, and K.N. Kozlov\*

\*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, ul. Polytekhnicheskaya 29, St. Petersburg, 195251 Russia

\*\*University of Vermont, Burlington, Vermont, VT 05405, United States of America

\*\*\*University of Southern California, Los Angeles, CA 90089, United States of America

Precise prediction of the timing of floral initiation helps breeders create new varieties that can achieve maximum efficiency under the influence of changing climate. A previously constructed model was used to compare the impact of daily weather parameters on flowering time of wild varieties of chickpeas collected in different geographic locations in Turkey. We found that plants from the high altitude areas unlike plant samples from lower altitudes can adapt to lower temperatures and longer days. With the model used and climate change predictions using MarkSim software to generate daily weather data for Ankara, the forecasts of changes in time to flowering in the studied wild chickpea varieties were made. The mean thresholds for the sowing-flowering period for the time periods: 2020–2039, 2040–2059 and 2060–2080 shifted for 21 combinations of the scenarios of plant growth and development and plant collecting sites, accounting for about half the 40 cases, thereby suggesting a moderate effect of climate change on flowering time in the studied varieties.

*Keywords: weather parameters, chickpea, mathematical modeling*