


DOI 10.18699/vjgb-24-18

# Многомерный анализ многолетних климатических данных в связи с урожайностью, скороспелостью и проблемой глобального потепления

В.М. Ефимов , Д.В. Речкин, Н.П. Гончаров 


Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия  
 gonch@bionet.nsc.ru

**Аннотация.** Изменение климата – определяющая проблема растениеводства XXI в. Агротехнологии будущего в Российской Федерации должны быть связаны с оптимизацией землепользования, которая будет осуществляться как с применением алгоритмов «умного» сельского хозяйства, так и на основе прогноза потенциальных климатических изменений. Это позволит повысить рентабельность и устойчивость производства сельскохозяйственной продукции без дополнительных затрат за счет своевременного учета возможных рисков. При этом оптимизация системы возделывания культур должна базироваться не на имеющихся эмпирических показателях, полученных по ограниченным во времени точкам учета (месяц, год), и субъективной человеческой оценке, а на комплексном анализе массивов многолетней информации. В настоящей работе приведены результаты многомерного анализа метеорологических экстремумов и связанных с ними неурожаев в Восточной и Западной Европе за последние 2600 лет по летописным данным и палеореконструкциям, а также реконструкциям гелиофизических данных за последние 9000 лет. Отмечается, что идущее глобальное потепление продлится еще некоторое время. Однако последующие изменения климата могут быть направлены в любую сторону, причем, скорее, в сторону похолодания, а не потепления, поэтому надо быть готовыми к любым сценариям будущего. Для нивелирования последствий этих изменений селекция может сыграть ключевую роль в решении проблем продовольственной безопасности. Обсуждаются перспективы разработки мер адаптации растениеводства к происходящим и ожидаемым изменениям климата, и сделан вывод, что селекция будущего должна базироваться на использовании уже отработанных в программах предварительной селекции (pre-breeding) высокоадаптированных сельскохозяйственных культур, потенциально отвечающих будущим вызовам, обусловленным потенциальным изменением климата.  
Ключевые слова: климат; глобальное потепление; модели; селекция будущего; адаптивность; скороспелость.

**Для цитирования:** Ефимов В.М., Речкин Д.В., Гончаров Н.П. Многомерный анализ многолетних климатических данных в связи с урожайностью, скороспелостью и проблемой глобального потепления. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2024;28(2):155-165. DOI 10.18699/vjgb-24-18

## Multivariate analysis of long-term climate data in connection with yield, earliness and the problem of global warming

V.M. Efimov , D.V. Rechkin, N.P. Goncharov 

Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia  
 gonch@bionet.nsc.ru

**Abstract.** Climate change is the key challenge to agriculture in the XXI century. Future agricultural techniques in the Russian Federation should involve the optimization of land utilization. This optimization should apply algorithms for smart farming and take into consideration possible climate variations. Due to timely risk assessment, this approach would increase profitability and production sustainability of agricultural products without extra expenditures. Also, we should ground farming optimization not on available empirical data encompassing limited time intervals (month, year) or human personal evaluations but on the integral analysis of long-term information bodies using artificial intelligence. This article presents the results of a multivariate analysis of meteorological extremes which caused crop failures in Eastern and Western Europe in last 2600 years according to chronicle data and paleoreconstructions as well as reconstructions of heliophysical data for the last 9000 years. This information leads us to the conclusion that the current global warming will last for some time. However, subsequent climate changes may go in any direction. And cooling is more likely than warming; thus, we should be prepared to any scenario. Plant breeding can play a key role in solving food security problems connected with climate changes. Possible measures to adapt plant industry to the ongoing and expected climate changes are discussed. It is concluded that future breeding should be based on the use of highly adapted crops that have already been produced in pre-breeding programs, ready to meet future challenges caused by potential climate change.  
Key words: climate; global warming; models; next generation breeding; adaptability; earliness.

**For citation:** Efimov V.M., Rechkin D.V., Goncharov N.P. Multivariate analysis of long-term climate data in connection with yield, earliness and the problem of global warming. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2024;28(2):155-165. DOI 10.18699/vjgb-24-18

## Введение

Резкие изменения климата непосредственно влияли на существование человека на протяжении всей геологической летописи (Gupta, 2004). Последнее похолодание в Палеарктике (в том числе до экстремальных проявлений) началось в позднем плейстоцене, около 27 тыс. лет назад, и закончилось примерно 14 тыс. лет назад (Prentice, 2009). По археологическим данным, обитавшие на этой территории люди либо успешно адаптировались к климатическим изменениям, либо мигрировали в местности с более благоприятными условиями, где в VIII–X вв. до н. э. занялись производящим хозяйством (Шнирельман, 2012), т. е. земледелием на основе domestикации растений и последовавшим за ним одомашниванием животных (Гончаров, 2013). В настоящее время очевидно, что концепция «вызова-и-ответа» А. Дж. Тойнби (Toynbee, 1954), согласно которой переход к земледелию был «ответом» древних охотников и собирателей на резкую аридизацию, обусловленную таянием позднплейстоценовых ледников, не нашла подтверждения (Трифонов, Караханян, 2004). Более того, земледелие в Передней Азии возникло в фазу относительной гумидизации, т. е. медленного повышения увлажнения.

Локальное и глобальное изменение климата – определяющая проблема XXI в. и его первых десятилетий, которые являются критическим временем для принятия мер по смягчению ожидаемых наихудших последствий для человечества и агробиоэкосистем (Eckardt et al., 2023). Грядущее изменение климата может иметь многочисленные негативные последствия для производства сельскохозяйственных культур во всем мире, что потребует существенного расширения биоразнообразия (зародышевой плазмы), необходимого для включения в селекцию как новых признаков, так и совершенно новых видов растений. При этом остро стоит проблема сбора, сохранения и последующего эффективного и рационального использования биоразнообразия возделываемых видов и их сородичей в условиях изменяющегося климата (Eastwood et al., 2022).

У многих видов-сородичей важных в хозяйственном отношении культур обнаружены значительные полиморфизмы в отношении сезонной адаптации (Гончаров, Чикида, 1995; Leigh et al., 2022; Liang, Tian, 2023), которые могут быть эффективно использованы для повышения общей приспособленности возделываемых растений в условиях локального и глобального изменения климата.

Последствия климатических изменений беспокоят специалистов разного профиля (Катцов и др., 2011; Ruddiman et al., 2016), в том числе биологов и аграриев, работающих с самыми разнообразными объектами (Baltzoi et al., 2015; Гурова, Осипова, 2018; Morgounov et al., 2018; Eastwood et al., 2022; и др.). Не вызывает сомнений тот факт, что наблюдаемые тенденции в изменении климата оказывают неблагоприятное воздействие на урожайность многих широко возделываемых культур. С хозяйственной точки зрения они представляют собой существенную потенциальную угрозу для общемирового производства растениеводческой и другой сельскохозяйственной продукции (Lobell, Gourdjji, 2012). Прогнозируется, что изменение

климата окажет отрицательное воздействие не только на производство продуктов питания, но и на их качество (Atkinson et al., 2008) и, как следствие, приведет к снижению уровня продовольственной безопасности. Расширение полиморфизма по многим признакам (Trifonova et al., 2021) и последующая селекция на оптимизацию длины вегетационного периода (скороспелость) возделываемых растений становятся все более актуальными (Kamran et al., 2014; Смоленская и др., 2022).

Потенциальные изменения климата делают неизбежной для селекционеров перспективу изменения программ создания сортов растений нового поколения и выведения новых пород животных. Во главу угла должны быть поставлены требования более высокой приспособленности к грядущим изменениям, которые, как становится очевидным, будут значительно отличаться от современных тенденций. При этом ни масштаб, ни их характер пока не поддаются однозначной оценке. В настоящее время чаще всего прогнозируются возможные риски, обусловленные повсеместным использованием наиболее популярных (стандартных) архитектурных возделываемых растений (Jatayev et al., 2020; Liu et al., 2022). Эта проблема очень серьезная, так как, например, около 70 % возделываемых в настоящее время короткостебельных сортов мягкой пшеницы являются носителями ограниченного числа аллелей генов *Rht*, а именно двух из них – *Rht-B1b* и *Rht-D1b* (Сухих и др., 2021).

Среди исследователей нет единодушия и в том, вызваны ли наблюдаемые глобальные изменения климата антропогенным влиянием или они происходят по естественным причинам (Ruddiman et al., 2016; Lobkovsky et al., 2022; и др.). В последнее время все большее распространение получает гипотеза «нестабильного Солнца» (Solanki et al., 2004; Usoskin et al., 2014). Ее суть заключается в утверждении, что приходящийся на нашу планету поток тепла, так называемая солнечная постоянная, не является такой уж постоянной, по крайней мере, в масштабах тысячелетий, и время от времени претерпевает неожиданные и непредсказуемые при современном уровне наших знаний изменения.

Вполне определенно можно утверждать, что наблюдаемое в настоящее время глобальное потепление началось задолго до бурного индустриального развития. Именно сейчас мы живем в «эпоху перемен», когда поток тепла от Солнца на нашу планету в очередной раз начинает меняться и, соответственно, на Земле будет изменяться климатический режим (Usoskin et al., 2014; Biswas et al., 2023). В связи с этим анализ исторических и современных данных для оценки возможных пределов естественных колебаний климата представляется важным для выбора стратегий природопользования и успешного ведения сельского хозяйства в будущем.

Цель настоящей работы – оценка пределов изменчивости климата, метеорологических экстремумов и неурожая в Восточной и Западной Европе за 2600 лет на основе летописных данных (Бараш, 1989), палеорекоkonструкций температуры воздуха (Слепцов, Клименко, 2005), а также композитных гелиофизических данных масштаба тысячелетий, опирающихся на прокси-методы (Clette et al., 2014;

Wu et al., 2018). Для обеспечения более полного охвата изучаемых явлений и более глубокого анализа имеющихся данных нами применены методы многомерного анализа, в частности метод главных компонент.

## Материалы и методы

В работе использованы:

- 1) летописные данные по годам с метеорологическими экстремумами и неурожаями в Западной и Восточной Европе за 2600 лет (с X в. до н. э. по XVI в. н. э.) из обзорной работы С.И. Бараша (1989);
- 2) реконструкция климата Восточной Европы (Русской равнины) за последние 2000 лет по палеоклиматическим данным из работы А.М. Слепцова, В.В. Клименко (2005);
- 3) реконструкция солнечной активности за последние 9000 лет по различным косвенным данным из (Wu et al., 2018);
- 4) ежегодные числа Вольфа SN(v2.0) (1700–2022), по: (WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels).

В летописные данные, опубликованные в работе С.И. Бараша (1989), ввели дополнительные признаки, для того чтобы компенсировать не вполне точное отражение природы характеристик лет: в дополнение к разрозненным признакам, отражающим неурожай по различным причинам (засуха, заливы), введен интегральный признак, аккумулирующий сведения о неурожаях вообще, при этом формирование указанного признака выполнялось исключительно по данным С.И. Бараша, приведенным в приложениях к его работе (рис. 1).

Многолетние данные были обработаны методом главных компонент для временных рядов (PCA-TS) (Karhunen, 1947; Loève, 1948). Метод позволяет разлагать любой временной ряд на главные компоненты, отражающие тренд, квазициклические колебания и «шум» (Ефимов и др., 1988). В современном варианте метода PCA-TS (Efimov et al., 2021) одномерный временной ряд преобразуется в траекторную матрицу (Takens, 1981), между ее строками вычисляется матрица евклидовых расстояний, из которой методом главных координат извлекаются главные компоненты (Gower, 1966). По фазовым портретам, построенным на главных компонентах, выявляются однородные по паттернам изменчивости интервалы временного ряда.

Следует отдельно отметить ошибочность очень распространенного положения, что статистическая независимость главных компонент означает и их функциональную независимость и что поэтому никакая главная компонента не может быть производной от другой, в точном математическом смысле, так как корреляция между ними равна нулю. В качестве контрпримера достаточно рассмотреть два временных ряда,  $Sin(t)$  и  $Cos(t)$ , и убедиться, что производная от синуса равна косинусу, их фазовый портрет является окружностью, а корреляция между ними равна нулю.

Похожие ситуации постоянно возникают при обработке реальных рядов методом главных компонент. Если одна из компонент интерпретируется как производная от другой, это можно использовать для прогноза. Часто компоненты идут парами с близкими дисперсиями и частотами, их фазовые портреты похожи на окружность, а по вкладкам

признаков в компоненты или сдвигу относительно друг друга можно определить, какая из них является производной от другой. Еще один часто встречающийся вариант: вклады в одну из компонент одинаковы по знаку и близки по величине (тренд), а в другую – составлены из двух различных по знаку последовательных интервалов, характеризующих изменение тренда.

Поскольку у каждой прямой есть два направления, выбор ориентации – забота пользователя. Любую главную компоненту всегда можно умножить на «-1». Соответственно, изменятся знаки вкладов в нее всех признаков. Рекомендуется выбирать ориентацию компонент таким образом, чтобы в случае тренда знаки всех вкладов были положительными, а при разнонаправленности сначала шли отрицательные вклады, а потом положительные. Тогда фазовая траектория будет вращаться преимущественно по часовой стрелке, причем положительное значение производной будет означать рост основной компоненты, а отрицательное – ее падение.

При вычислении взаимных парных корреляций между проявлениями перечисленных характеристик лет мы применили отсеечение «статистического шума» (Приложение 1)<sup>1</sup>, приходящегося на малозначимые (младшие) главные компоненты, и ограничились изучением эффектов обнаруженной модуляции на события, отмечаемые в летописях. Поэтому в приводимом Приложении 2 диагональные элементы матрицы всегда меньше единицы. Для заданного числа объектов ( $n = 2600$ ) при среднем значении коэффициента корреляции ( $r = 0.500$ ) средняя ошибка коэффициента корреляции составит:  $s_r = (1 - r^2) / \sqrt{n}$  не более 0.014. Таким образом, значения коэффициентов парных корреляций, превышающие утроенную среднюю ошибку (0.044), считали значимыми.

## Результаты

Мы проанализировали собранные С.И. Барашем (1989) данные (см. рис. 1), преобразованные в матрицу, в которой объектами были годы, а признаками – зафиксированные в летописях благоприятные (урожай) либо неблагоприятные (все остальные) события.

Использовали следующие обозначения: Зас-ВЕ – засуха, местные недороды в Восточной Европе; ЗаН-ВЕ – сильная засуха, чрезвычайный повсеместный неурожай; Дож-ВЕ – дождливое лето, местные недороды; ДоН-ВЕ – избыточно влажное лето и чрезвычайный повсеместный неурожай; Зим-ВЕ – суровая зима; ЗиН-ВЕ – очень суровая зима и местные недороды от гибели озимых; Гол-ВЕ – голод; Сар-ВЕ – саранча; Эпи-ВЕ – эпидемия; Чум-ВЕ – чума; Осп-ВЕ – черная оспа; Тиф-ВЕ – сыпной тиф; Мор-ВЕ – мор (эпизоотия); Урж-ВЕ – хороший урожай; НеУ-ВЕ – повсеместный неурожай. Аналогичные обозначения (с суффиксом «ЗЕ») использованы для Западной Европы.

Признаки НеУ-ВЕ и НеУ-ЗЕ добавлены нами. В работе С.И. Бараша (1989) неурожайные годы не отмечаются признаками Урж-ВЕ и Урж-ЗЕ, а «закодированы» скрытым образом в признаках Зас, ЗаН, Дож, ДоН и ЗиН. Мы выделили это влияние в пару отдельных признаков и оценили влияние всех перечисленных характеристик лет.

<sup>1</sup> Приложения 1–3 см. по адресу:  
<https://vavilovj-icg.ru/download/pict-2024-28/appx8.pdf>



Метеорологические экстремумы, повсеместные неурожаи, местные недороды, голода и эпидемии в Западной Европе за 2600 лет  
(с I тысячелетия до н.э. по XVI в. н.э.)

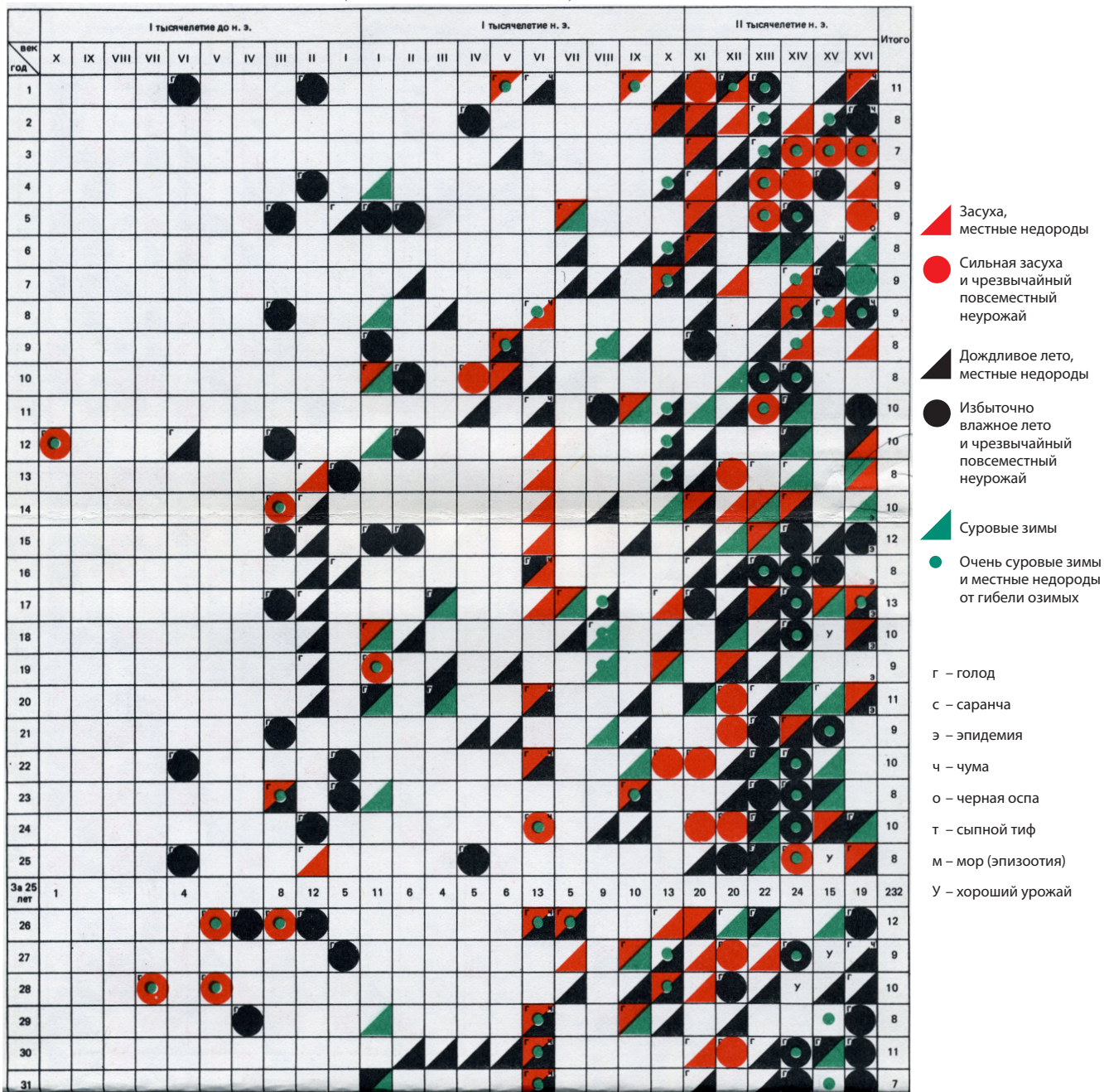


Рис. 1. Метеорологические экстремумы и неурожаи в Западной (ЗЕ) и Восточной Европе (ВЕ) за 2600 лет (с X в. до н.э. до XV в. н.э.). Из (Бараш, 1989, фрагмент).

Оказалось, что существенным влиянием на неурожаи обладают только характеристики ЗаН и ДоН, связанные с повсеместными неурожаями, а не с локальными (местными) недородами.

В данных С.И. Бараша (1989) отсутствуют какие-либо сведения об эпидемиях сыпного тифа в Западной Европе (признак Тиф-ЗЕ имеет нулевое значение), поэтому в итоговой матрице данных по Восточной Европе представлено 15 признаков, по Западной Европе – 14, всего 29.

Обработка проведена методом главных компонент (рис. 2, Приложения 1–3). На первую (PC1) и вторую

(PC2) главные компоненты приходится 22 % совокупной дисперсии выборки (см. Приложение 1). Собственные числа традиционно упорядочены по убыванию значений. Они отражают перераспределение информации и концентрацию наиболее существенных факторов в первых (старших) главных компонентах (см. Приложение 3).

Так как сумма всех собственных чисел равна порядку матрицы корреляций (количеству признаков исходной выборки), при невозможности выделения каких-либо закономерностей во взаимодействии (взаимосвязанности) признаков каждое собственное число должно было быть

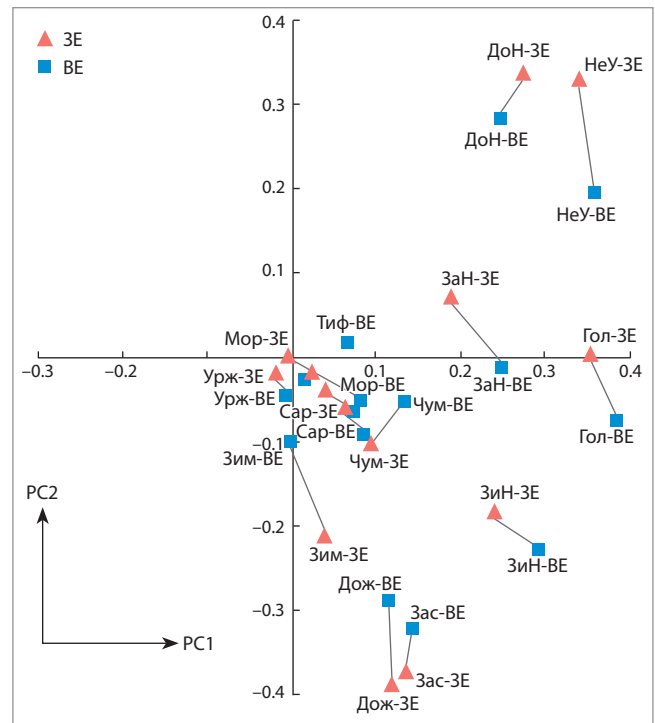
равным единице (для матрицы корреляций, вычисленной по исходной матрице данных с центрированными и нормированными признаками). Поэтому значение «1» можно считать границей, по превышению которой соответствующая главная компонента отражает существенный для описания выборки фактор. Следовательно, главные компоненты, собственные числа которых не дотягивают до этой границы, отнесены к несущественным. По аналогии со сложившейся в информатике и радиотехнике традицией (Оппенгейм, Шафер, 1979) будем называть информативный набор главных компонент сигналом (см. Приложение 1), а прочие, неинформативные, компоненты – статистическим шумом. В данном случае сигналом считаем старшие главные компоненты, PC1–PC12, на которые приходится около 66 % совокупной дисперсии изучаемой выборки данных. Их собственные векторы приведены в Приложении 3.

Первая главная компонента (PC1; 14.5 % общей дисперсии выборки) отражает влияние климатических (природных) факторов на повсеместные неурожаи и, как следствие, на голод как в Восточной, так и в Западной Европе. Наибольшие по абсолютной величине вклады в формирование PC1 дают признаки ЗаН-ВЕ, ДоН-ВЕ, ЗиН-ВЕ, ЗаН-ЗЕ, ДоН-ЗЕ, ЗиН-ЗЕ; как следствие, высоки вклады зависимых признаков НеУ-ВЕ, Гол-ВЕ, НеУ-ЗЕ и Гол-ЗЕ. Природу действующего фактора можно определить как «урожай vs. голод».

Вторая главная компонента (PC2; 7.5 % общей дисперсии) отражает влияние фактора, обуславливаемого совокупностью признаков Зас-ВЕ, Дож-ВЕ, ДоН-ВЕ, ЗиН-ВЕ, а также Зас-ЗЕ, Дож-ЗЕ, ДоН-ЗЕ, Зим-ЗЕ и НеУ-ЗЕ. При этом (для Западной Европы) вклады признаков Зас-ЗЕ, Дож-ЗЕ и Зим-ЗЕ, с одной стороны, и ДоН-ЗЕ и НеУ-ЗЕ, с другой, имеют разные знаки. Это может означать лишь то, что в Западной Европе влияние второго по силе фактора определяет главным условием неурожая избыток влаги в летний период. Напротив, для Восточной Европы подобные климатические причины не приводят к неурожаям, хотя и оказывают влияние на растениеводство в целом. Природу фактора, формирующего вторую главную компоненту, можно определить как различия в характере увлажнения Восточной и Западной Европы.

Обработка летописных данных, свидетельствующих о метеорологических экстремумах и неурожаях в Западной и Восточной Европе за 2600 лет, позволила оценить сходство рядов этих событий по положению признаков в фазовом пространстве главных компонент (см. рис. 2, Приложение 2). Для наглядности признаки, аналогичные для Восточной и Западной Европы, соединены линиями (см. рис. 2).

Третья главная компонента (PC3; 5.8 % общей дисперсии) показывает, что влияние повсеместных неурожая в Западной Европе сказывается лишь как угроза голода, тогда как в Восточной Европе угрозой представляет не столько голод, сколько эпидемии, а в первую очередь чума. Это связано при поисках пищи с контактами населения степных и лесостепных районов с мелкими животными (сурки, суслики, тарбаганы и пр.), обитателями степных ландшафтов, являющимися переносчиками чумы.



**Рис. 2.** Сходство проявлений характеристик лет в пространстве главных компонент PC1 и PC2.

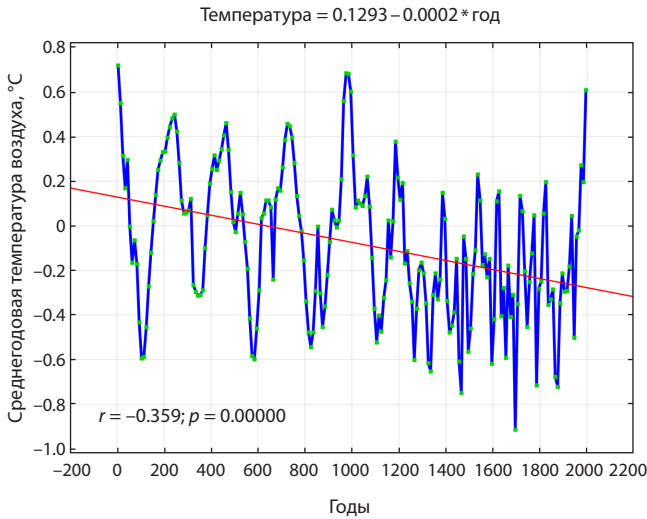
ЗЕ – Западная Европа; ВЕ – Восточная Европа.

Связь эпидемий и эпизоотий с неурожайными годами можно объяснить снижением общей сопротивляемости организмов людей и домашних животных, вызванным недостатком пищи. Иным образом проявляется природа при вспышках численности («нашествиях») саранчи, обладающей уникальной способностью усиливать стадное поведение в поколениях, производимых на свет родительскими особями, выросшими в условиях дефицита пищи.

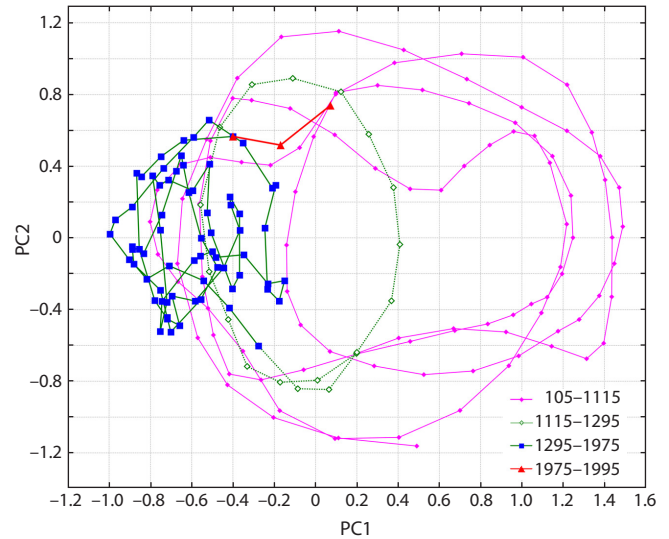
Для оценки изменения климата нами использован материал из работы А.М. Слепцова и В.В. Клименко (2005), в которой предпринята попытка реконструкции климата Восточной Европы (Русской равнины) на основе данных из четырех различных источников: инструментальных данных, исторических свидетельств, палинологических и дендрохронологических сведений. Динамика среднегодовой температуры воздуха Русской равнины восстановлена авторами для последних 2000 лет (рис. 3).

А.М. Слепцов и В.В. Клименко отмечают отрицательный тренд среднегодовых температур, четко проявившийся в последнее тысячелетие, а именно после 1200 г. и до второй половины XX в. Экстраполировав эти данные на следующее 50 лет, они делают вывод о том, что так называемое «глобальное потепление» на самом деле было антропогенным и спасло человечество от «глобального похолодания», которое, как показывает история XIV–XVIII вв., нанесло бы гораздо больший ущерб нашей цивилизации. Кроме того, они отмечают существование ярко выраженного примерно 200-летнего климатического ритма, тесно связанного с колебаниями солнечной активности (Слепцов, Клименко, 2005).





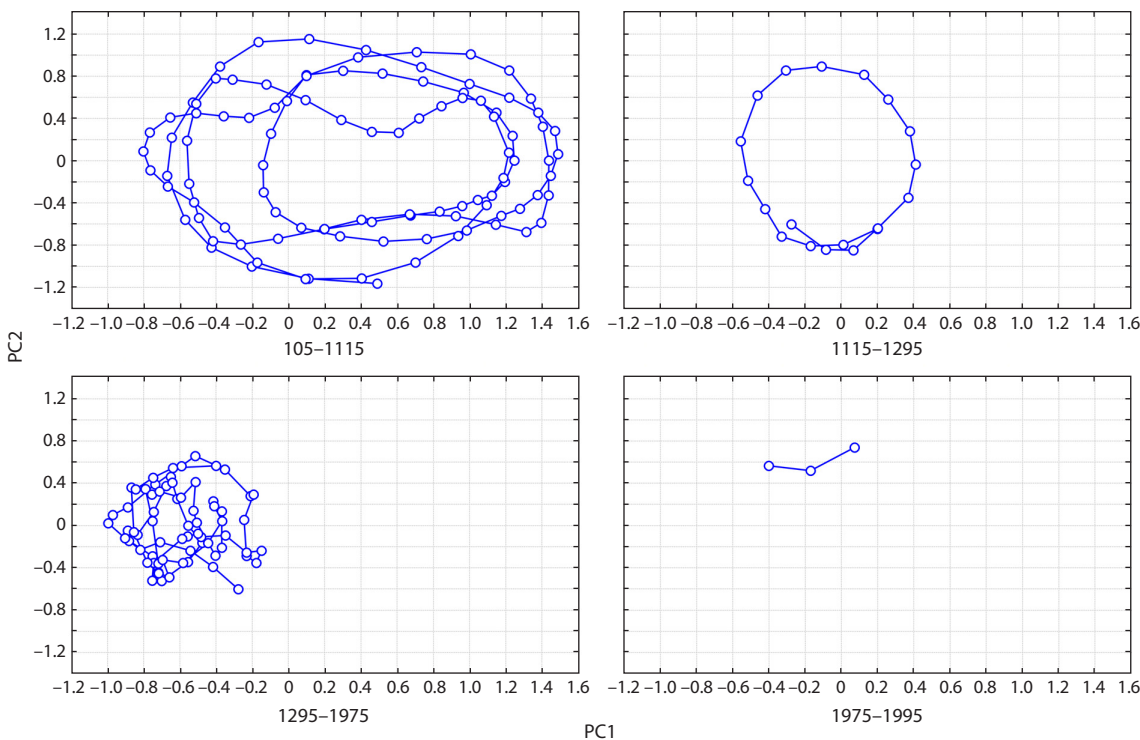
**Рис. 3.** Отклонения средней годовой температуры воздуха от современных значений для территории Русской равнины (осреднение по десятилетиям). По: (Слепцов, Клименко, 2005, рис. 3).



**Рис. 4.** Фазовый портрет динамики средней годовой температуры воздуха для территории Русской равнины на плоскости первых двух главных компонент (PC1 и PC2).

Четко виден относительно благополучный период с I по XII в. н. э. с последующим похолоданием после XII в. и протянувшийся почти до настоящего времени. Однако из данных, представленных на рис. 3, можно получить дополнительную информацию. При обработке этого временного ряда методом главных компонент (рис. 4 и 5) отчетливо видна его внутренняя неоднородность. Исходя из полученных коэффициентов корреляции первых двух главных

компонент (PC1 и PC2) со средней годовой температурой с различными лагами, можно сделать заключение, что первая главная компонента (PC1, 47.7 % дисперсии) отвечает за повышение температуры воздуха (потепление), в то время как вторая (PC2, 24.9 % дисперсии) – за ее производную (см. таблицу). Это означает, что, когда траектория ряда находится выше нуля по второй компоненте (PC2), она обязана двигаться вправо, т. е. в сторону повышения



**Рис. 5.** Фазовый портрет динамики средней годовой температуры воздуха для территории Русской равнины на плоскости первых двух главных компонент (PC1 и PC2) с разнесением по температурным режимам.

Коэффициенты корреляции (×1000) первых двух главных компонент  
со средней годовой температурой воздуха для территории Русской равнины с различными лагами

Лаг	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PC1	492	621	723	795	825	820	777	701	592	459
PC2	-638	-640	-518	-314	-106	132	348	542	653	646

Примечание. Светло-красный, светло-зеленый –  $p < 0.001$ ; красный, зеленый –  $p < 10^{-4}$ .

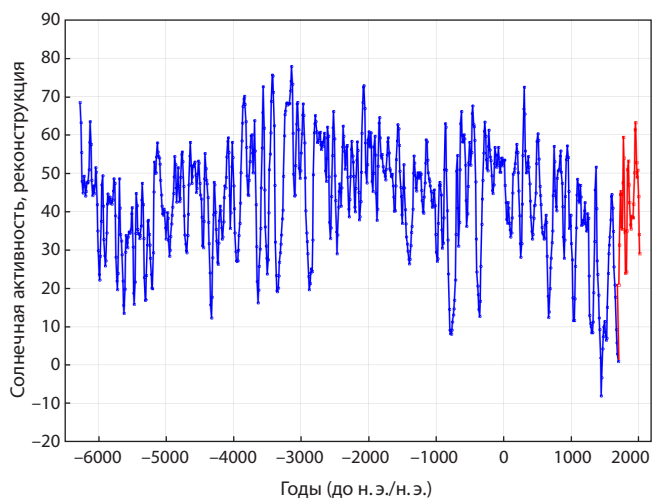


Рис. 6. Реконструкция солнечной активности за последние 9000 лет (из: Wu et al., 2018).

температуры, до тех пор, пока не спустится ниже нуля и не повернет обратно. Эта закономерность проявляется без заметных отклонений (рис. 6 и 7). При этом в анализируемом периоде времени выделяются четыре отрезка: режим циклических колебаний с периодом около 200 лет (105–1115 гг.), переходный режим (1115–1295 гг.), режим квазихаотических колебаний (1295–1975 гг.) и режим «повышение температуры» (начавшийся после 1975 г. и продолжающийся до настоящего времени) (см. рис. 4 и 5).

Исходя из фазового портрета (см. рис. 6 и 7), траектория рассматриваемого временного ряда, во-первых, уже вышла за пределы, в которых она находилась в течение последних семи столетий; во-вторых, она еще не вышла за пределы, в которых находилась в течение всего I тыс. и начала II тыс. н. э.; в-третьих, не исключается возможность, что возвращается режим циклических колебаний температур, характерный для I тыс. н. э. Если это заключение верно, то и без антропогенного воздействия в ближайшие 50–60 лет можно ожидать продолжения повышения температур по естественным, не связанным с антропогенным воздействием, причинам.

Приведенные результаты обработки временных рядов (см. рис. 4–6) подтверждают выводы нашего предыдущего анализа (Ефимов, Гончаров, 2013). А именно: климат в Западной и Восточной Европе по неустановленным на сегодняшний день причинам испытывает многовековые колебания и резко переходит из одного режима в другой. Особенно заметны переходы в I и II тыс. н. э. и в XIV–XVIII вв. Наблюдаемые в настоящее время резкие клима-

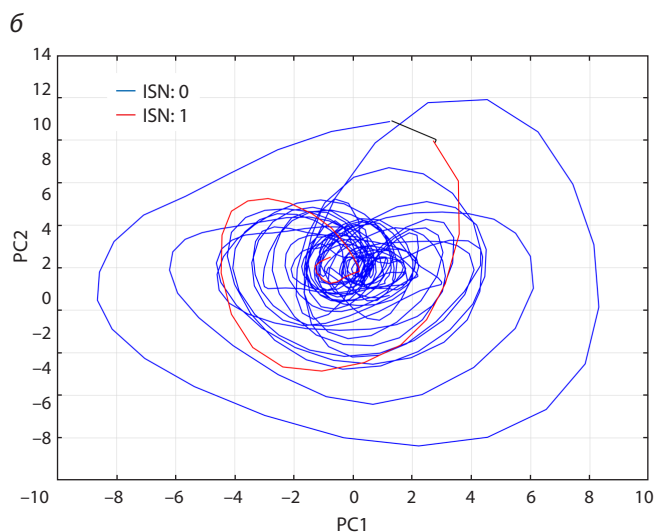
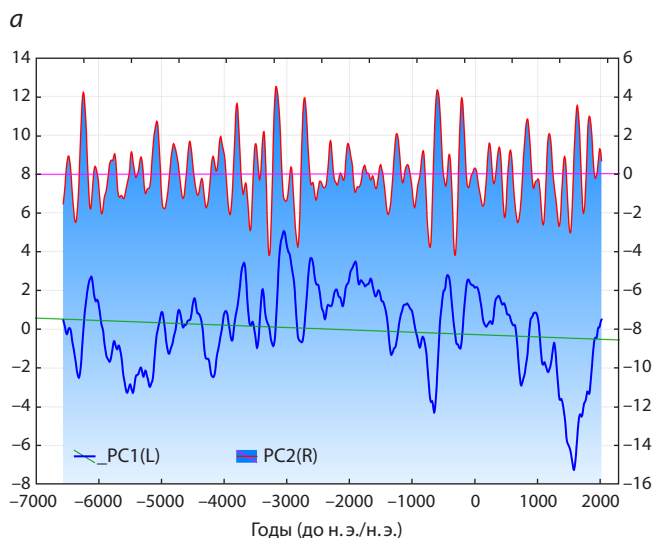


Рис. 7. Первые две главные компоненты (PC1 и PC2) солнечной активности за последние 9000 лет (а) и их фазовый портрет (б). Дисперсия PC1 = 36.3 %, PC2 = 28.5 %.

тические изменения (см. рис. 6 и 7), возможно, являются очередным переходом из одного климатического режима в другой, ближайший аналог которого более теплый и засушливый, чем современный, режим I тыс. н. э.

Кроме того, методы многомерного анализа позволяют выделить резко отличающиеся интервалы различного влияния теплового потока на нашу планету (см. рис. 7). В соответствии с реконструкцией данных солнечной активности за последние 9000 лет (см. рис. 7, а) есть все

основания предположить, что в настоящее время она в виде теплового потока на нашу планету претерпевает серьезные изменения (Wu et al., 2018). Начало этих изменений следует отнести как минимум к XVI–XVII вв., что автоматически исключает гипотезу антропогенного воздействия как главной причины современного изменения климата. Нужно отметить (см. рис. 7, а), что I тыс. н.э. теплее, причем как по сравнению с предшествующим I тыс. до н.э., так и с последующим II тыс. н.э.

## Обсуждение

Согласно анализу результатов С.И. Бараша (1989), «голодными» в Восточной Европе становятся годы, для которых характерны либо засухи, либо чрезмерные дожди в ареалах, сопоставимых с масштабами субконтинента (см. рис. 2, Приложение 2). Аналогичные зависимости проявляются и в Западной Европе, при этом связь между голодом и чрезмерным выпадением осадков на ее территории более ярко выражена, в то время как суровость зим в Восточной Европе обуславливает голод чаще, чем в Западной. Такие различия между субконтинентами обусловлены их географическими особенностями. Западная Европа, вытянутая с юго-запада на северо-восток, представляет собой естественную преграду, о которую разбиваются воды Гольфстрима – основного источника дополнительного тепла и влаги со стороны Атлантики (Hendry, 1982; Hogg, 1992; Hogg, Johns, 1995). Воздействие полярных воздушных масс на этом субконтиненте выражено не столь отчетливо, как в Восточной Европе. Напротив, влияние Гольфстрима на Восточную Европу сильно ослаблено, холодные массы арктического воздуха весьма существенно влияют на развитие растений. При этом вымерзание озимых культур более значимо для Восточной Европы, где они занимают существенную долю посевных площадей, чем для Западной.

Корреляция эпидемий чумы с неурожаями в Восточной Европе почти в два раза выше, чем в Западной (см. Приложение 2). Возможно, это связано с преимущественно аридным степным характером восточноевропейских агроландшафтов с наличием популяций степных грызунов, являющихся первичными распространителями этой болезни. Именно они при недостатке питания вплотную приближаются к жилищу человека. Другая ситуация с вирусом оспы: корреляции в данном случае невысоки как для Восточной Европы, так и для Западной. Вирус оспы передается от человека к человеку без промежуточных распространителей. Влияет только активное перемещение людей по территориям.

Климат в Западной и Восточной Европе по неустоявшимся естественным причинам испытывает многовековые колебания, резко переходящие из одного режима в другой (см. рис. 3). Наиболее вероятная причина таких колебаний – крупномасштабные (порядка тысячелетий) изменения теплового потока, приходящего на Землю от Солнца. Особенно заметные переходы отмечались при наступлении I и II тыс. н.э. и в XIV–XVIII вв. Наблюдаемые в наше время климатические изменения, возможно, являются либо очередным переходом в новый, пока неизвестный, климатический режим, либо продолжением уже наступившего полтысячелетия назад холодного климатического ре-

жима. Идущее сейчас глобальное потепление фактически началось в середине прошлого тысячелетия (в XX веке), но на фоне беспрецедентного похолодания («малого ледникового периода» в XIV–XVIII вв.) оно долгое время воспринималось как возврат к климатической норме. Только в настоящее время возникло представление о том, что если потепление продолжится дальше, то оно может вызвать катастрофические последствия, к которым необходимо готовиться заранее. Поскольку основной причиной таких изменений декларировано антропогенное воздействие, то естественным следствием стала иллюзия, что человечеству под силу изменить климат.

Вопрос о ведущей причине изменения климатических режимов, несмотря на давнюю историю его всестороннего изучения и практическую значимость, все еще не решен современной наукой. Одни исследователи считают главной причиной антропогенное влияние (и уже успели получить за это три Нобелевские премии: в 2007 г. – премию мира (Solomon et al., 2007), в 2018 г. – по экономике (Nordhaus, 2019), в 2021 г. – по физике (Manabe, 2019, 2023)), тогда как другие – очередным витком естественных колебаний климата (Usoskin et al., 2014; Lobkovsky et al., 2022; и др.).

Поскольку Земля практически все тепло получает от Солнца, то встает вопрос о закономерностях динамики теплового потока и возможности прогноза его изменения. Естественно, что в первую очередь изучаются направления преимущественного движения показателей (тренд) и цикличность динамики. Однако на примере солнечной активности четко видна зависимость результатов от масштаба рассматривания. Если, например, ограничиться эпохой прямых регулярных наблюдений солнечной активности (последние 300 лет), то прежде всего выявляется так называемая 11-летняя цикличность, а если ее «снять», то восходящий тренд не вызывает никаких сомнений и прогнозом может быть только дальнейшее безграничное возрастание (что, собственно, сейчас и происходит).

Если увеличить масштаб рассматривания до 1000 лет, то видна средневековая «яма» в середине II тыс. н.э., из которой мы только сейчас выходим. Прогнозом, очевидно, может быть только дальнейший подъем. При увеличении масштаба рассматривания до трех тысячелетий видно, что «провалы» случались и раньше, но не такой большой глубины как сейчас, поэтому после выхода из провала динамика начинает медленно дрейфовать в сторону похолодания, сопровождаясь более мелкими колебаниями. Прогнозом будут недолгое повышение и последующий пологий дрейф в сторону понижения. Если рассмотреть максимально доступную на сегодняшний день «длинную» информацию (см. рис. 6), то видно, что очень значительные «провалы» случались и посреди максимальных подъемов, например на рубеже IV и III тыс. до н.э. Возможно, подобное изменение может случиться и в XXI столетии. Причина «провалов» неизвестна, и надежных статистических закономерностей пока не выявлено.

## Заключение

В литературе уже давно обсуждаются перспективы использования климатических моделей в разработке превентивных мер адаптации в различных областях жизне-



деятельности человека к происходящим и ожидаемым изменениям климата (Катцов и др., 2011; и др.). Климат полностью контролирует то, что будет жить и расти в конкретном биоме. В последнее время исследования влияния изменения климата на сельское хозяйство приобрели широкий размах (Раунер, 1981; Sirotenko, 2001; Золотокрылин и др., 2020; Cooper, Messina, 2023; и др.). Однако разброс модельных оценок реакции сельскохозяйственного производства для многих регионов чрезвычайно высокий. Основная причина этого – различия в исходной метеорологической информации, способах ее обобщения и в используемых методах получения оценки влияния.

Изменение парадигмы селекции, обусловленной прогнозами потенциального потепления, наиболее часто обсуждается в связи с возможной аридизацией значительных территорий (Трифонов, Караханян, 2004) и, как следствие, с необходимостью повышения засухоустойчивости возделываемых культур (Zotova et al., 2020; Cooper, Messina, 2023) и поиском новых перспективных для культивирования засухоустойчивых видов растений (Baltzoi et al., 2015). При этом стратегии адаптации к изменениям климата могут включать более точное соответствие фенологии растений наличию влаги (Сессарелли et al., 2010); расширение доступа к набору сортов с разной скороспелостью (Смоленская, Гончаров, 2023), для того чтобы избежать проявлений у них стресса в критические периоды жизненного цикла; повышение эффективности водопользования и переориентации на селекцию сортов нового поколения для обеспечения буфера против растущей непредсказуемости (Сессарелли et al., 2010). В любом случае селекционерам в настоящее время необходимо учитывать высокую вероятность изменения климата на десятки лет вперед, даже если и не будут достигнуты наблюдаемые ранее уровни экстремумов, которые могут привести к аридизации значительных территорий и сдвигу агрозон в направлении с юга на север. В связи с этим создание скороспелых сортов в качестве превентивных мер повышения адаптивности агробиocenозов является очень актуальной задачей.

## Список литературы / References

Бараш С.И. История неурожаев и погоды в Европе. Л.: Гидрометеоздат, 1989  
[Barash S.I. History of Crop Failures and Weather in Europe. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1989 (in Russian)]  
Гончаров Н.П. Доместикация растений. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2013;17(4/2):884-899  
[Goncharov N.P. Plant domestication. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii* = *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2013;17(4/2): 884-899 (in Russian)]  
Гончаров Н.П., Чикида Н.Н. Генетика типа развития у *Aegilops squarrosa* L. *Генетика*. 1995;31(3):396-399  
[Goncharov N.P., Chikida N.N. Genetics of the growth habit in *Aegilops squarrosa* L. *Genetika (Moscow)*. 1995;31(3):343-346]  
Гурова Т.А., Осипова Г.М. Проблема сопряженной стрессоустойчивости растений при изменении климата в Сибири. *Сиб. вестн. с.-х. науки*. 2018;48(2):81-92. DOI 10.26898/0370-8799-2018-2-11  
[Gurova T.A., Osipova G.M. The problem of combined stress resistance of plants under climate change in Siberia. *Sibirskiy Vestnik Sel'skokhozyaystvennoy Nauki* = *Siberian Herald of Agricultural*

*Science*. 2018;48(2):81-92. DOI 10.26898/0370-8799-2018-2-11 (in Russian)]  
Ефимов В.М., Гончаров Н.П. Погодные экстремумы и неурожай в Европе. В: Десятое сибирское совещание по климатологическому мониторингу. Тез. рос. конф. Томск, 14-17 октября 2013 г. Томск: Аграф-Пресс, 2013;53  
[Efimov V.M., Goncharov N.P. Weather extremes and crop failures in Europe. In: Abstracts from the Tenth Siberian Meeting on Climate-Ecological Monitoring. Tomsk, October 14-17, 2013. Tomsk: Agraf-Press Publ., 2013;53 (in Russian)]  
Ефимов В.М., Галактионов Ю.К., Шушпанова Н.Ф. Анализ и прогноз временных рядов методом главных компонент. Новосибирск: Наука, 1988  
[Efimov V.M., Galaktionov Yu.K., Shushpanova N.F. Analysis and Forecast of Time Series by the Principal Component Method. Novosibirsk: Nauka Publ., 1988 (in Russian)]  
Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А., Титкова Т.Б. Аридизация засушливых земель Европейской части России и связь с засухами. *Изв. РАН. Сер. географическая*. 2020;84(2):207-217. DOI 10.31857/S258755662002017X  
[Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A., Titkova T.B. Aridization of drylands in the European part of Russia: Secular trends and links to droughts. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya* = *Bulletin of the RAS. Geographic Series*. 2020;84(2):207-217. DOI 10.31857/S258755662002017X (in Russian)]  
Катцов В.М., Мелешко В.П., Хлебникова Е.И., Школьник И.М. Оценка климатических воздействий на сельское хозяйство России в первой половине XXI века: современные возможности физико-математического моделирования. *Агрофизика*. 2011;(3): 22-30  
[Kattsov V.M., Meleshko V.P., Khlebnikova E.I., Shkolnik I.M. Assessment of climate impacts on agriculture in Russia over the first half of the XXI century: current opportunities provided by numerical modeling. *Agrofizika* = *Agrophysica*. 2011;(3):22-30 (in Russian)]  
Оппенгейм А.В., Шафер Р.В. Цифровая обработка сигналов. М.: Связь, 1979  
[Oppenheim A.V., Schaffer R.W. Digital Signal Processing. New Jersey: Pearson, 1975]  
Раунер Ю.Л. Климат и урожайность зерновых культур. М.: Наука, 1981  
[Rauner Yu.L. Climate and Crop Productivity. Moscow: Nauka Publ., 1981 (in Russian)]  
Слепцов А.М., Клименко В.В. Обобщение палеоклиматических данных и реконструкция климата Восточной Европы за последние 2000 лет. *История и современность*. 2005;(1):118-135  
[Sleptsov A.M., Klimentko V.V. Generalization of paleoclimatic data and reconstruction of the climate of Eastern Europe for the last 2000 years. *Istoriya i Sovremennost'* = *History and Modernity*. 2005;(1):118-135 (in Russian)]  
Смоленская С.Э., Гончаров Н.П. Аллельное разнообразие генов *Vrn* и контроль типа и скорости развития у пшениц. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2023;27(8):933-946. DOI 10.18699/VJGB-23-108  
[Smolenskaya S.E., Goncharov N.P. Allelic diversity of the *Vrn* genes and the control of growth habit and earliness in wheat. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii* = *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;27(8):933-946. DOI 10.18699/VJGB-23-108 (in Russian)]  
Смоленская С.Э., Ефимов В.М., Кручинина Ю.В., Немцев Б.Ф., Челурнов Г.Ю., Овчинникова Е.С., Белан И.А., Зуев Е.В., Чжоу Чэньси, Пискарев В.В., Гончаров Н.П. Скороспелость и морфотип сортов мягкой пшеницы Западной и Восточной Сибири. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022;26(7):662-674. DOI 10.18699/VJGB-22-81  
[Smolenskaya S.E., Efimov V.M., Kruchinina Yu.V., Nemtsev B.F., Chelurnov G.Yu., Ovchinnikova E.S., Belan I.A., Zuev E.V., Zhou Chenxi, Piskarev V.V., Goncharov N.P. Earliness and morpho-

- types of common wheat cultivars of Western and Eastern Siberia. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022;26(7):662-674. DOI 10.18699/VJGB-22-81 (in Russian)]
- Сухих И.С., Вавилова В.Ю., Блинов А.Г., Гончаров Н.П. Разнообразии и фенотипический эффект аллельных вариантов генов короткостебельности *Rht* у пшениц. *Генетика*. 2021;57(2):127-139. DOI 10.31857/S0016675821020107
- [Sukhikh I.S., Vavilova V.Y., Blinov A.G., Goncharov N.P. Diversity and phenotypical effect of the allelic variants of *Rht* dwarfing genes in wheat. *Russ. J. Genet.* 2021;57(2):127-138. DOI 10.1134/S1022795421020101]
- Трифонов В.Г., Караханян А.С. Геодинамика и история цивилизаций. М.: Наука, 2004
- [Trifonov V.G., Karakhanyan A.S. Geodynamics and History of Civilizations. Moscow: Nauka Publ., 2004 (in Russian)]
- Шнирельман В.А. Возникновение производящего хозяйства: Очаги древнейшего земледелия. М.: Либроком, 2012
- [Shnirelman V.A. The Emergence of a Productive Economy: Centers of Ancient Agriculture. Moscow: Librokom Publ., 2012 (in Russian)]
- Atkinson M.D., Kettlewell P.S., Poulton P.R., Hollins P.D. Grain quality in the Broadbalk Wheat Experiment and the winter North Atlantic Oscillation. *J. Agric. Sci.* 2008;146(5):541-549. DOI 10.1017/S0021859608007958
- Baltzoi P., Fotia K., Kyrkas D., Nikolaou K., Paraskevopoulou A.T., Accogli A.R., Karras G. Low water-demand plants for landscaping and agricultural cultivations – A review regarding local species of Epirus/Greece and Apulia/Italy. *Agric. Agric. Sci. Procedia*. 2015;4: 250-260. DOI 10.1016/j.aaspro.2015.03.029
- Biswas A., Karak B.B., Usoskin I., Weisshaar E. Long-term modulation of solar cycles. *Space Sci. Rev.* 2023;219(3):19. DOI 10.1007/s11214-023-00968-w
- Ceccarelli S., Grando S., Maatougui M., Michael M., Slash M., Haghparast R., Rahmanian M., Taheri A., Al-Yassin A., Benbelkacem A., Labdi M., Mimoun H., Nachit M. Plant breeding and climate changes. *J. Agric. Sci.* 2010;148(6):627-637. DOI 10.1017/S0021859610000651
- Clette F., Svalgaard L., Vaquero J.M., Cliver E.W. Revisiting the sunspot number: A 400-year perspective on the solar cycle. *Space Sci. Rev.* 2014;186:35-103. DOI 10.1007/s11214-014-0074-2
- Cooper M., Messina C.D. Breeding crops for drought-affected environments and improved climate resilience. *Plant Cell*. 2023;35(1):162-186. DOI 10.1093/plcell/koac321
- Eastwood R.J., Tambam B.B., Aboagye L.M., Akparov Z.I., Aladele S.E., Allen R., Amri A., ... Tapia Toll J., Vu D.T., Vu T.D., Way M.J., Yazbek M., Zorrilla C., Kilian B. Adapting agriculture to climate change: A synopsis of coordinated National Crop Wild Relative Seed Collecting Programs across five continents. *Plants*. 2022;11(14):1840. DOI 10.3390/plants11141840
- Eckardt N.A., Ainsworth E.A., Bahuguna R.N., Broadley M.R., Busch W., Carpita N.C., ... Rim E.Y., Ronald P.C., Salt D.E., Shigenaga A.M., Wang E., Wolfe M., Zhang X. Climate change challenges, plant science solutions. *Plant Cell*. 2023;35(1):24-66. DOI 10.1093/plcell/koac303
- Efimov V.M., Efimov K.V., Polunin D.A., Kovaleva V.Y. New possibilities of the PCA-Seq method in the analysis of time series (on the example of solar activity). *J. Phys. Conf. Ser.* 2021;2099(1):012034. DOI 10.1088/1742-6596/2099/1/012034
- Gower J.C. Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. *Biometrika*. 1966;53(3-4):325-338. DOI 10.1093/biomet/53.3-4.325
- Gupta A. Origin of agriculture and domestication of plants and animals linked to early Holocene climate amelioration. *Curr. Sci.* 2004; 87(1):54-59
- Hendry R.M. On the structure of the deep Gulf Stream. *J. Mar. Res.* 1982;40(1):119-142
- Hogg N.G. On the transport of the Gulf Stream between Cape Hatteras and the Grand Banks. *Deep-Sea Res.* 1992;39(7-8):1231-1246. DOI 10.1016/0198-0149(92)90066-3
- Hogg N.G., Johns W.E. Western boundary currents. *Rev. Geophys.* 1995;33(S2):1311-1334. DOI 10.1029/95RG00491
- Jatayev S., Sukhikh I., Vavilova V., Smolenskaya S.E., Goncharov N.P., Kurishbayev A., Zotova L., Absattarova A., Serikbay D., Hu Y.-G., Borisjuk N., Gupta N.P., Jacobs B., de Groot S., Koekemoer F., Alharthi B., Lethola K., Cu D., Schramm C., Anderson P., Jenkins C., Soole K.L., Shavrukov Y., Langridge P. Green revolution 'stumbles' in a dry environment: Dwarf wheat plants with *Rht* genes fail to produce higher yield than taller genotypes under drought. *Plant Cell Environ.* 2020;43(10):2355-2364. DOI 10.1111/pce.13819
- Kamran A., Iqbal M., Spaner D. Flowering time in wheat (*Triticum aestivum* L.): A key factor for global adaptability. *Euphytica*. 2014; 197:1-26. DOI 10.1007/s10681-014-1075-7
- Karhunen K. Über lineare Methoden in der Wahrscheinlichkeitsrechnung. *Ann. Acad. Sci. Fennicae. Ser. A. I. Math.-Phys.* 1947;37:1-79.
- Leigh F.J., Wright T.I., Horsnell R.A., Dyer S., Bentley A.R. Progenitor species hold untapped diversity for potential climate-responsive traits for use in wheat breeding and crop improvement. *Heredity*. 2022;128(5):291-303. DOI 10.1038/s41437-022-00527-z
- Liang Y., Tian F. Plant genetics: Mechanisms of wild soybean adaptation. *Curr. Biol.* 2023;33(2):R82-R84. DOI 10.1016/j.cub.2022.12.009
- Liu Z., Hu Z., Lai X., Cao J., Zhang J., Ma X., Zhang X., Wang X., Ji W., Xu S. Multi-environmental population phenotyping suggests the higher risks of wheat *Rht-B1b* and *Rht-D1b* cultivars in global warming scenarios. *bioRxiv*. 2022;07:500398. DOI 10.1101/2022.07.18.500398
- Lobell D.B., Gourdji S.M. The influence of climate change on global crop productivity. *Plant Physiol.* 2012;160(4):1686-1697. DOI 10.1104/pp.112.208298
- Lobkovsky L.I., Baranov A.A., Ramazanov M.M., Vladimirova I.S., Gabsatarov Y.V., Semiletov I.P., Alekseev D.A. Trigger mechanisms of gas hydrate decomposition, methane emissions, and glacier breakups in polar regions as a result of tectonic wave deformation. *Geosciences*. 2022;12(10):372. DOI 10.3390/geosciences12100372
- Loève M. Fonctions Aléatoires de Second Ordre. In: Lévy P. (Ed.). *Processus Stochastique et Mouvement Brownien*. Paris: Gauthier-Villars, 1948;366-420
- Manabe S. Role of greenhouse gas in climate change. *Tellus A: Dyn. Meteorol. Oceanogr.* 2019;71(1):1620078. DOI 10.1080/16000870.2019.1620078
- Manabe S. Nobel Lecture: Physical modeling of Earth's climate. *Rev. Mod. Phys.* 2023;95(1):010501. DOI 10.1103/RevModPhys.95.010501
- Morgounov A., Sonder K., Abugaliev A., Bhadauria V., Cuthbert R.D., Shamanin V., Zelenskiy Yu., DePauw R.M. Effect of climate change on spring wheat yields in North America and Eurasia in 1981-2015 and implications for breeding. *PLoS One*. 2018;13(10):e0204932. DOI 10.1371/journal.pone.0204932
- Nordhaus W. Climate change: The ultimate challenge for economics. *Am. Econ. Rev.* 2019;109(6):1991-2014. DOI 10.1257/aer.109.6.1991
- Pearson K.L. III. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Philos. Mag.* 1901;2(11):559-572
- Prentice R. Cultural responses to climate change in the Holocene. *Anthos*. 2009;1(1):3. DOI 10.15760/anthos.2009.41
- Ruddiman W.F., Fuller D.Q., Kutzbach J.E., Tzedakis P.C., Kaplan J.O., Ellis E.C., Vavrus S., Roberts J., Fyfe C.N., He R.F., Lemmen C., Woodbridge J. Late Holocene climate: Natural or anthropogenic? *Rev. Geophys.* 2016;54(1):93-118. DOI 10.1002/2015RG000503
- Sirotenko O.D. Crop modeling: Advances and problems. *Agron. J.* 2001;93(3):650-653. DOI 10.2134/agronj2001.933650ax
- Solanki S.K., Usoskin I.G., Kromer B., Schüssler M., Beer J. An unusually active Sun during recent decades compared to the previous

- 11,000 years. *Nature*. 2004;431(7012):1084-1087. DOI 10.1038/nature02995
- Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K., Tignor M., Miller H. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007
- Takens F. Detecting strange attractors in turbulence. In: Rand D., Young L.S. (Eds). *Dynamical Systems and Turbulence*. Warwick 1980. *Lecture Notes in Mathematics*. Vol. 898. Berlin: Springer, 1981;366-381. DOI 10.1007/BFb0091924
- Toynbee A.J. *A Study of History*. London: Oxford University Press, 1954
- Trifonova A.A., Dedova L.V., Zuev E.V., Goncharov N.P., Kudryavtsev A.M. Comparative analysis of the gene pool structure of *Triticum aethiopicum* wheat accessions conserved *ex situ* and recollected in field after 85 year later. *Biodivers. Conserv.* 2021;30(2):329-342. DOI 10.1007/s10531-020-02091-6
- Usoskin I.G., Hulot G., Gallet Y., Roth R., Licht A., Joos F., Kovaltsov G.A., Thebault E., Khokhlov A. Evidence for distinct modes of solar activity. *Astron. Astrophys.* 2014;562(1):L10. DOI 10.1051/0004-6361/201423391
- Wu C.J., Usoskin I.G., Krivova N., Kovaltsov G.A., Baroni M., Bard E., Solanki S.K. Solar activity over nine millennia: A consistent multi-proxy reconstruction. *Astron. Astrophys.* 2018;615:A93. DOI 10.1051/0004-6361/201731892
- Zotova L., Shamambaeva N., Lethola K., Alharthi B., Vavilova V., Smolenskaya S.E., Goncharov N.P., Jatayev S., Kurishbayev A., Gupta N.K., Gupta S., Schramm C., Anderson P., Jenkins C.L.D., Soole K.L., Shavrukov Yu. *TaDrAp1* and *TaDrAp2*, Partner genes of a transcription repressor, coordinate plant development and drought tolerance in spelt and bread wheat. *Int. J. Mol. Sci.* 2020;21(21): 8296. DOI 10.3390/ijms21218296

---

**Финансирование.** Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-16-20026) и Правительства Новосибирской области.

**Прозрачность финансовой деятельности.** Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 21.03.2023. После доработки 13.11.2023. Принята к публикации 18.11.2023.