

Фитопатогенная биота в условиях потепления климата (обзор)

© 2022. Т. К. Шешегова, д. б. н., в. н. с.,

Л. М. Щеклеина, к. с.-х. н., с. н. с.,

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока

им. Н. В. Рудницкого,

610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, д. 166а,

e-mail: immunitet@fanc-sv.ru

В статье изложена информация о состоянии климатических факторов в Российской Федерации (РФ) за последние 100 лет: отмечено общее потепление климата на 1 °С, при этом за холодный период года – на 1,4 °С, тёплый – на 0,4 °С. Рассматриваются особенности изменения видовой и внутривидовой структуры фитопатогенных микроорганизмов, насекомых-вредителей и растительных сообществ в связи с динамикой климатических факторов на Евро-Северо-Востоке РФ, в частности, на территории Кировской области. Проанализированы положительные и отрицательные последствия потепления климата на растительно-микробные взаимодействия. Обоснована возможность появления новых фитопатогенов и насекомых-вредителей и элиминация существующей вредной биоты в условиях изменения экологии и климата. В Кировской области в связи с потеплением может снизиться вредоносность снежной плесени и появиться возможность полноценного возделывания таких культур, как озимая тритикале, озимый ячмень, зимующий овёс, но увеличится поражение зерновых культур спорыньей, семечковых и косточковых – монилиозом, полевых и садовых культур – вирусными болезнями. Велика вероятность появления новых болезней и вредителей, например, жёлтой ржавчины и жёлтой пятнистости, рамуляриоза и вредной черепашки на зерновых культурах. Появится необходимость в корректировке возделываемых культур и внедрении более теплолюбивых и нетрадиционных, например, кукурузы, сои, проса, сорго, яровой тритикале и др. Поэтому сельскохозяйственное производство и биологическая наука должны быть готовыми к региональным экологическим и климатическим изменениям.

Ключевые слова: климатические изменения, фитопатогенные микроорганизмы, насекомые-вредители, биоэкология микроорганизмов, болезни растений.

Phytopathogenic biota in the conditions of climate warming (review)© 2022. Т. К. Sheshegova ORCID: 0000-0003-2371-4949L. M. Shchekleina ORCID: 0000-0002-3589-5524

Federal Agricultural Research Center

of the North-East named N. V. Rudnitsky,

166a, Lenina St., Kirov, Russia, 610007,

e-mail: immunitet@fanc-sv.ru

The article provides information on the state of climatic factors in the Russian Federation over the past 100 years and notes the overall warming of the climate by 1 °C, while for the cold period of the year – by 1.4 °C, warm – by 0.4 °C. Further, the features of changes in the species and intraspecific structure of phytopathogenic microorganisms, insect pests and plant communities are considered in connection with the unfavorable dynamics of climatic factors in the Euro-North-East of the Russian Federation, including the Kirov region. The positive and negative consequences of climate warming on plant-microbial interactions are shown. The possibility of the emergence of new phytopathogens and insect pests and the elimination of the existing harmful biota under conditions of changing ecology and climate is substantiated. In the Kirov region, due to warming, the harmfulness of snow mold may decrease and it will be possible to fully cultivate such crops as winter triticale, winter barley, wintering oats, but the damage to grain crops by ergot, pome and stone fruits – by moniliosis, field and horticultural crops – by viral diseases will increase. New diseases and pests are likely to appear, such as yellow rust and yellow spot, ramularia and harmful bug on crops. There will be a need to adjust cultivated crops and introduce more heat-loving and non-traditional ones, for example, corn, soybeans, millet, sorghum, spring triticale, etc. Therefore, agricultural production and biological science must be prepared for regional environmental and climate changes.

Keywords: climate change, phytopathogenic microorganisms, insect pests, bioecology of microorganisms, plant diseases.

Экология и климат в последние годы становятся мощными экономическими и политическими факторами глобализации [1–4]. Климат в мире достаточно быстрыми темпами меняется. Хотя глобальное потепление продолжает оставаться темой интенсивных споров, но то, что оно происходит, уже практически никем не оспаривается. Однако региональные климатические тренды могут существенно отличаться от мировых. Данные 455 метеостанций показали, что с 1901 по 2005 гг. среднегодовая температура воздуха в России повысилась в среднем на 1 °С, при этом в холодный период – на 1,4 °С, тёплый – на 0,4 °С. В целом климат в России потеплел сильнее (на 0,76 °С), чем во всём мире [5].

Россия относится к числу стран, сельское хозяйство которой в значительной степени зависит от колебаний и изменений климатических показателей. При этом в последние десятилетия на большей части территории России отмечено улучшение условий формирования урожайности, снижение климатообусловленного риска для производства сельскохозяйственной продукции и рост биоклиматического потенциала [6, 7]. Так, на основании обобщения и анализа климатических данных за 53 года (1957–2010 гг.) выявлено усиление континентальности климата в Предуралье. При этом отмечено потепление в вегетационный период зерновых культур. Температура с мая по август повысилась на 0,6 °С, сумма осадков – на 64 мм. Продолжительность безморозного периода увеличилась за счёт осенних месяцев, а установление устойчивого снежного покрова отодвинулось на 20–25 дней позднее среднесезонных сроков. При анализе урожайности озимых зерновых культур выявлена достоверная зависимость её от среднесуточной температуры воздуха ($r = 0,68$) и суммы осадков ($r = 0,65$) [8].

Стратегической задачей XXI столетия, сформулированной на Всемирной конференции по изменению климата в 2003 г., является необходимость, с одной стороны, адаптироваться к экологическим и климатическим изменениям, а с другой – возможно предугадывать их [9].

Цель работы – на основе ретроспективного анализа литературных данных и собственных исследований оценить последствия потепления климата для сельскохозяйственного производства и обосновать возможные изменения в региональных микробных и растительных сообществах.

Объекты и методы исследования

Объектом литературного обзора является фитопатогенная биота (микроорганизмы и насекомые-вредители), видовая и внутривидовая структура которых способна значительно меняться под влиянием климатических факторов. Для обзора использованы литературные источники за период 2000–2022 гг. из базы данных научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU, включающей публикации ведущих отечественных учёных-исследователей по данной тематике. Поиск литературы проводили на сайте eLIBRARY.RU, а также при помощи поисковых систем Яндекс и Google по ключевым словам: «потепление климата», «микроорганизмы», «насекомые-вредители», «болезни растений», «изменчивость биоты». Полученную информацию анализировали в соответствии с поставленной целью.

Положительные и отрицательные последствия потепления

Для Российской Федерации (РФ), относящейся к группе северных стран, потепление может иметь как негативные, так и позитивные последствия. Среди положительных результатов этого процесса для сельского хозяйства можно выделить следующее: увеличение площади земель, пригодных для земледелия, рост продолжительности вегетационного периода, улучшение условий перезимовки, влагообеспеченности и теплообеспеченности полевых и садовых культур. Вполне возможно, что на Центральное Нечерноземье, Верхнее Поволжье, Средний Урал, юг Западной Сибири распространятся климатические условия чернозёмных степей, что предполагает увеличение урожаев полевых культур в 1,5–2 раза [10]. Северные регионы Сибири и Якутии по мере достаточного увлажнения могут стать пригодными для выращивания более позднеспелых и высокопродуктивных культур, в том числе озимых зерновых [1]. По данным [11], климатическая составляющая изменчивости урожайности озимой пшеницы варьирует в широких пределах – от 30% (на Северном Кавказе) до 60% (в Северо-Восточных и Восточных регионах России). А по данным ФАНЦ Северо-Востока [12], в Кировской области доля этих факторов в сезонной динамике урожаев разных полевых культур достигает 40%. За период 1975–2008 гг. климатообусловленное изменение урожайности зерновых культур отмечено повсеместно, особенно

в отдельных районах Северного Кавказа и Поволжья [3, 4]. Однако высокие температуры могут привести и к негативным экологическим последствиям: уменьшению влажности почвы и общему дефициту воды, большому количеству фитопатогенов, сорняков и вредителей [13–15]. Наиболее ярким подтверждением прямой связи между изменением температуры и появлением нетрадиционной биоты в центральных и северных территориях РФ является колорадский жук, который со второй половины XX века интенсивно осваивал новые экологические ниши. Очевидно, что распространялся он в соответствии с тем, насколько температурный режим был благоприятен для его биологических потребностей. Вполне возможно, что следующим особо опасным вредителем, который может появиться на этих территориях при дальнейшем потеплении климата, станет саранча.

Изменение климатических факторов, несомненно, приведёт к региональной корректировке спектра возделываемых культур. В связи с потеплением климата в северных регионах РФ будут возделываться более теплолюбивые виды растений, а экономически и экологически оправданные ареалы холодостойких культур будут территориально ограничиваться [16]. Например, долгосрочные климатические прогнозы свидетельствуют, что для ряда регионов Евро-Северо-Востока РФ, в том числе Кировской области, в 10-летней перспективе вполне возможно выращивание для разных целей кукурузы, сои, проса, сорго, яровой тритикале, озимых форм ячменя и овса, нетрадиционных плодовых и ягодных культур. Судя по сумме эффективных температур (на севере области 1500–1700 °С, на юге – 1950–2100 °С), климат Кировской области создаёт в целом благоприятные условия для большинства возделываемых культур [17].

Однако следует учитывать, что вместе с интродуцированной культурой начнут аккумулироваться все присущие ей вредные организмы, поскольку погодные условия могут способствовать выживанию и расширению ареала возбудителей болезней и насекомых-вредителей [18, 19]. Кроме того, под действием более высоких температур, как правило, укорачивается продолжительность инкубационного периода патогена, увеличивается количество фитопатогенных микроорганизмов (МО) и генераций насекомых-вредителей и, как следствие, величина инфекционной нагрузки. Механизмы конституционального и индуцированного иммунитета не выдержи-

вают «натиска» инфекции, и устойчивость генотипа преодолевается. Возможна также постепенная, а порой и непрогнозируемая трансформация ранее неопасных видов в экономически значимые. При отсутствии оперативного реагирования на эти изменения возникает общая биотическая неустойчивость экосистем.

Влияние среды на биоэкологию некоторых микроорганизмов

Исходя из биологии фитопатогенов (требования к температуре, влажности, инсоляции в разные периоды инфекционного цикла и др.), можно полагать, что умеренно тёплые зимние месяцы в более северных широтах России будут способствовать выживанию видов *Fusarium* spp., *Helminthosporium* spp., *Alternaria* spp., *Sclerotinia* spp., *Typhula* spp., *Septoria* spp., *Claviceps* spp., *Venturia* spp. и ряда других холодостойких микромицетов. Уже сейчас на Евро-Северо-Востоке РФ мы отмечаем усиление вредоносности септориозных, фузариозных и гельминтоспориозных пятнистостей, склеротинии зерновых и бобовых культур, спорыньи, альтернариоза различных органов растений [20–23]. Повышение температуры в летний период будет благоприятствовать развитию грибов родов *Ustilago*, *Urocystis*, *Puccinia*, *Podosphaera*, *Erysiphe*, бактерий родов *Pseudomonas*, *Xanthomonas* и других термоустойчивых МО. В меньшей степени климатические изменения влияют на некоторые почвенные фитопатогены (*Pythium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinia* и др.), так как они формируют зимующие инфекционные структуры, которые защищают их от внешних воздействий [19].

Изменения коснутся не только видового состава, но и внутривидовой структуры вредной биоты, поскольку факторы среды могут приводить к серьёзной корректировке направленного отбора, генетического состава популяций, патогенности и токсичности новых форм. Так, по данным [24, 25], повышение температуры индуцирует усиление токсинообразования грибов рр. *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, а двукратное сокращение инкубационного периода у вида *F. culmorum* в 10 раз увеличивает накопление дезоксиниваленона (токсин ДОН). Кроме того, одни и те же виды МО в разных экологических условиях могут значительно менять свои патогенные свойства. Это следует учитывать при возделывании новых сельскохозяйственных культур, так как

вместе с интродукцией можно занести вирулентные виды и штаммы-суперпродуценты токсинов. Например, широкое возделывание кукурузы на Евро-Северо-Востоке влечёт за собой заражённость зерна этой культуры и большинства зерновых культур эндемичным для этого региона фузариозным видом – *F. moniliforme*.

Тесная положительная связь существует между температурой и агрессивностью всех видов ржавчинных грибов [26]; температурой и образованием пикнид у септориозных грибов [27–30]; температурой и окончанием инкубационного периода у возбудителя фитофторы картофеля [31]. Температура может влиять также на проявление генов вертикальной и горизонтальной устойчивости растений к грибным и, особенно, бактериальным болезням. Известно, что при высокой температуре гены *Sr6*, *Sr24* и *Sr25* не защищают пшеницу от стеблевой ржавчины, а *Pg3* и *Pg4* – овёс от той же болезни. Температурозависимы гены устойчивости к гессенской мухе: *H10*, *H11*, *H12* у зерновых культур. При перепадах температур «не работает» ген *Vf*, обеспечивающий устойчивость яблони к парше [18, 19]. В условиях нетипично низких или высоких температур у всех растений может меняться даже характер наследования генов.

Распространение некоторых болезней в условиях нестабильности климата

Жёлтая ржавчина пшеницы (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*), поражающая все зерновые культуры и имеющая наибольшую вредоносность в Азии, на Ближнем Востоке и юге России, постепенно продвигается в северные зоны. С небольшой степенью поражения посевов она диагностируется в Татарстане, Башкирии, а в 2019 г. впервые обнаружена в Кировской области. Развитие болезни на отдельных сортах яровой пшеницы в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока превышало 20% [32]. Расширились ареалы септориоза пшеницы (*Septoria nodorum* Berk. и *Septoria tritici* et Desm.) и других зерновых культур, а эпифитотии с частотой от 2 до 8 раз за 10 лет возникают во всех зернопроизводящих регионах РФ [28–30]. Как правило, септориоз усиливается в условиях жаркой погоды в период интенсивного нарастания надземной биомассы растений (конец июня – июль). Обусловленные видами *Alternaria* spp., *Cladosporium* spp., *Helminthosporium* spp. «чёрнь колоса» и «чёрный зародыш», наоборот, сильнее

проявляются во влажных условиях вегетации. При избыточном увлажнении в период налива заражённость зерна видами *Alternaria* spp. достигает 90%, *Cladosporium* spp. – 50% [33–35].

Новым заболеванием пшеницы в северо-западном регионе России является жёлтая пятнистость (*Pyrenophora tritici-repentis*), которая с 2005 г. усиливает поражение посевов озимых и яровых форм этой культуры [18]. В 2012 г. в Архангельской области и некоторых районах Республики Коми у ячменя идентифицирована совершенно новая болезнь – рамуляриоз, возбудитель которой *Ramularia collo-cygni* – термофил, границы ареала которого ранее были за пределами РФ [36].

Фузариозные болезни в настоящее время распространены повсеместно с тем или иным уровнем вредоносности. Поскольку большинство видов *Fusarium* spp. способны существовать в широком диапазоне температур, то основным лимитирующим фактором для развития заболеваний является влажность (осадки, туманы, росы). Тем не менее имеются виды, предъявляющие особые требования к температуре. Среди них *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels & I.C. Hallett (син.: *Fusarium nivale* Ces. ex Berl. & Voglino) – очень холодостойкий гриб, вызывающий снежную плесень озимых зерновых культур и злаковых трав. Вредоносность его во многих регионах с потеплением холодных месяцев, очевидно, снизится. Другой вид – *F. graminearum* Schwabe теплолюбивый, вызывающий фузариозы генеративных органов и зерна и распространённый на Дальнем Востоке, Северном Кавказе, в центрально-чернозёмном регионе. Однако в последние годы его диагностируют как возбудителя фузариозов в северо-западном регионе и во многих областях (в том числе в Кировской области) Нечерноземной зоны [37–39].

По нашим наблюдениям и данным филиала ФГУ «Россельхозцентр» по Кировской области, за последние 10–15 лет проявляется тенденция усиления поражения козлятника восточного грибом *Sclerotinia trifoliorum* Elen., который является возбудителем рака клевера [22]. Теперь патоген осваивает новые экологические ниши и формируемые новые трофические связи, паразитируя на других бобовых культурах. С 2011 г. в связи с участившимися влажными условиями в период вегетации растений увеличивается поражение всех семечковых и косточковых культур монилиолизом (*Monilia fructigena* Honey), а земляники садовой – земляничным клещом

(*Tarsonemus pallidus* Banks). Из-за интенсивного размножения тлей, провоцируемого нестабильностью температурного режима в летний период, засорённостью посевов и обочин полей злаковыми сорняками, на которых сохраняются насекомые, на многих полевых и садовых культурах усиливается развитие вирусных болезней с симптомами желтух, покраснения, деформации. Специалисты прогнозируют дальнейшее повышение вредоносности болезней вирусной этиологии [18, 19, 40, 41]. На горохе и пелюшке паразитирует гороховая зерновка (*Bruchus pisorum* L.), сильному распространению которой в отдельные годы препятствуют недостаток тепла в период кладки яиц и возделывание культур на зерносеяж и силос. Однако семеноводческие посевы более уязвимы, так как жук зимует внутри зерновки. Устойчиво держатся в посевах, биоценозах залежей и бросовых земель все злаковые мухи, виды совок и тли, хлебная полосатая блошка, жуки-щелкуны, хлебные жуки и другие вредители, способные при наступлении благоприятных условий размножаться в больших количествах [42]. Следует отметить наличие в южных районах Волго-Вятского региона саранчи, которая, вероятно, попала сюда с транспортом. Однако погодные условия позволяют ей перезимовывать, равно как и вредной черепашке, которая также нетипична для большей части территории этого региона.

Распространение спорыньи

В последнее десятилетие серьёзную биоэкологическую опасность представляет повсеместное нарастание спорыньи (*Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.) в посевах ржи, пшеницы и даже ячменя [23, 43–45]. В какой-то мере это обусловлено ориентацией крупного сельскохозяйственного производства (агрохолдинги) на энерго- и ресурсосберегающие агротехнологии, нарушением основной обработки почвы и севооборотов, наличием огромных территорий запущенных (бросовых) земель, а также благоприятными для патогена *C. purpurea* погодными условиями в период инфицирования завязи цветка [46]. Одной из основных причин разного рода эпифитотий является возделывание монокультур на обширных территориях [47]. В Кировской области спорынья проявляется на половине посевов озимых зерновых культур. Доля поражённых растений в сортовых биоценозах ржи достигала 8,0% [23]. Сильнее поражаются посевы в западной и юго-западной зонах области, где погодные

условия в сочетании с возможными нарушениями технологии возделывания благоприятствуют заражению. Следует отметить, что хозяйства с высокой культурой земледелия стали заложниками окружающих территорий (залежь, бросовые земли, бывшие кормовые угодья), с которых на посевные площади переходят все вредные организмы, в том числе и аскоспоры *C. purpurea*.

Как мы отмечали ранее [43], роль гриба *C. purpurea* в народном хозяйстве далеко неоднозначна. С одной стороны, это фитопатоген, поражающий все зерновые культуры и злаковые травы, вред от которого заключается в снижении продуктивности растений и образовании вместо зерна склероциев, которые содержат опасные токсины эргоалкалоиды (ЭА). Их избыточное содержание в кормах и зернопродуктах вызывает заболевание человека и животных – эрготизм. С другой – эти же ЭА незаменимы как компонент более 80 лекарственных препаратов [48].

Хотя способность гриба *C. purpurea* продуцировать ЭА генетически детерминирована, их количество и состав зависят от растения-хозяина, географических и климатических факторов. При переработке зерна в муку токсичность её может значительно увеличиться из-за размола самих склероциев. Поэтому даже незначительное содержание склероциев в зерновой массе вызывает накопление токсинов в муке и продуктах питания.

В ФАНЦ Северо-Востока в содружестве с Институтом биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрябина РАН изучена токсичность кировской популяции гриба *C. purpurea*. Установлена слабая филогенетическая изменчивость в структуре ЭА. У изученных культур (рожь, пшеница) наиболее распространёнными ЭА были эргокристин и его стереоизомер – эргокристинин [49, 50]. Такая структура ЭА остаётся достаточно стабильной как во времени, так и в пространстве. Это может свидетельствовать об определённом расовом составе *C. purpurea* и позволяет использовать любой штамм патогена для иммунологических и селекционных работ. Выявлены сорта озимой ржи (Лика, Симфония, Гармония, Леда, Подарок НП, Чулпан 2, Вавиловская НП, Россиянка 2, Тринодис 4 – Минвак-139/09 НП, Красноярская универсальная НП) и яровой мягкой пшеницы (Т-33, С-65, У-80, У-28, С-84, Т-123, Т-141, Новосибирская 18, Тулайковская надежда, Кайыр, Ul Alta Blanca, Eros) с высокой устойчивостью к спорынье, а также генотипы ржи (Лика,

Графит, Перепел, Гармония, Симфония, Ниоба, Садко, Роса, Сара) и пшеницы (Традиция, Т-38, Оренбургская 23, Ерос) не накапливающие в склероциях ЭА. В этом случае склероции, встречающиеся в зерновой массе, представляют собой неопасную биологическую примесь. В настоящее время выявленные в процессе иммунологических исследований генотипы используются в качестве источников устойчивости при селекции новых сортов. С их использованием создаётся новый селекционный материал, проходящий дальнейшие исследования по другим признакам. Устойчивые и урожайные сорта озимой ржи Лика и яровой пшеницы Традиция с 2022 г. проходят государственное испытание.

В наших исследованиях установлена отрицательная связь между массой склероция и содержанием ЭА. Учитывая, что мелкие склероции невозможно полностью отделить из зернового вороха посредством механической сортировки [51–53], и часть их попадает в семенные, продовольственные и фуражные партии зерна, биоэкологическая опасность этой фракции представляется наиболее серьёзной. Такие склероции чаще всего формируются на недоразвитых стеблях, а также во влажных условиях созревания зерна и при запаздывании с уборкой.

Выявлено, что состояние климатических факторов оказывает избирательное действие на отдельные этапы развития гриба *C. purpurea*. Поражение растений спорыньей усиливается при избыточных осадках в мае, когда склероции гриба начинают прорастать и формировать плодовые тела с аскоспорами и относительно высокой температуре в первой половине июня, когда наблюдается заражение завязи растений от аскоспор. Осадки и влажность почвы на глубине 4–20 см влияют не только на прорастание склероциев, но и на уровень потенциальной инфекции. Обнаружено, что при количестве осадков в мае, близкому к норме, на одной склероции формировалось от 3 до 44 плодовых тел при среднем значении – 14,2. В засушливых условиях (21 и 47% от нормы осадков за май) среднее количество сформировавшихся плодовых тел на склероциях снижалось в 1,9–2,5 раза [44, 46]. Выявленные тенденции могут быть использованы в сезонном прогнозе уровня развития спорыньи в посевах.

Заключение

Обобщая климатообусловленные риски для сельскохозяйственного производства,

следует отметить возросшую актуальность исследований в области экологии и биологии фитопатогенов, насекомых-вредителей и их взаимоотношений с культурными и дикорастущими растениями для оперативной корректировки селекционно-семеноводческого и технологического процессов. Сельхозтоваропроизводители должны знать и помнить, что любое нарушение технологии возделывания культуры – это своего рода «подарок» фитопатогенам, насекомым-вредителям и сорнякам. Несвоевременное решение возникшей фитосанитарной проблемы чревато кратным увеличением пестицидной нагрузки на полевые биоценозы, снижением урожайности, вплоть до экономической нецелесообразности возделывания культуры.

References

1. Akhmedov A.D., Yakunin D.A. Climate change and agricultural production // Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2011. No. 5. P. 18–19 (in Russian).
2. Zakharov I.A. Ecological genetics and modern problems of biosphere // Uspekhi sovremennoy biologii. 2020. V. 140. No. 2. P. 107–115 (in Russian). doi: 10.31857/S0042132420020118
3. Sirotenko O.D., Pavlova V.N. Assessment of the impact of climate change on agriculture by the method of spatio-temporal analogues // Meteorologiya i gidrologiya. 2003. No. 8. P. 89–99 (in Russian).
4. Sirotenko O.D., Pavlova V.N. A new approach to identifying year–yield functionals for assessing climate change impacts // Meteorologiya i gidrologiya. 2010. No. 2. P. 92–100 (in Russian).
5. Yarovikova E. Global warming starts from Russia // Life. 2010. No. 6. P. 10–16 (in Russian).
6. Sukhotin Yu.M., Moiseev Yu.V. Global climate change and its impact on Russian agriculture // Informatsonnyy byulleten Ministerstva selskogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii. 2000. No. 9–10. P. 59–62 (in Russian).
7. Petrov V.S., Mishko A.E., Tsiku D.M., Marmorshstein A.A. Improvement of the gene pool of grapes based on agrobiological and physiological-biochemical evaluation of new genotypes of selection by S.E. Gusev in unstable conditions of the temperate continental climate of southern Russia // Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii. 2022. No. 183 (2). P. 137–148 (in Russian). doi: 10.30901/2227-8834-2022-2-137-148
8. Kosolapova A.I., Vasbieva M.T. Influence of changes in climatic indicators in the Perm region on the productivity of grain crops // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2011. No. 11. P. 9–11 (in Russian).
9. Zhuchenko A.A. Adaptive crop production (ecological and genetic foundations): theory and practice. V. 2. Moskva: Agrorus, 2009. 1089 p. (in Russian).

10. Yakunin D.A., Musaelyan S.M. Forecasts of the impact of climate change on agriculture in the Lower Volga region // *Izvestiya Nizhegorodskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie*. 2011. No. 2. P. 80–86 (in Russian).
11. Zhuchenko A.A. Adaptive strategy for sustainable development of Russian agriculture in the 21st century. Theory and practice. V. 1. Moskva: Publishing house Agrorus, 2009. 816 p. (in Russian).
12. Mukhamadyarov F.F., Sirotenko O.D. Climate change // *Perspectives of northern crop production: Materialy shkoly molodykh uchenykh po ekologo-geneticheskim osnovam severnogo rastenievodstva*. Kirov: Research Institute of Agriculture of the North-East, 2008. P. 6–17 (in Russian).
13. Ovsyannikov Yu.A. Possible consequences of climate change for agriculture // *Agrarnyy vestnik Urala*. 2006. No. 1. P. 15–17 (in Russian).
14. Frolov A. Patterns of pest population dynamics and phytosanitary forecast // *Novosti zashchity rasteniy*. 2019. No. 3. P. 4–33 (in Russian). doi: 10.31993/2308-6459-2019-3(101)-4-33
15. Sanin S.S. Plant protection and sustainable agriculture in the 21st century // *Zashchita i karantin rasteniy*. 2020. No. 4. P. 9–16 (in Russian).
16. Skrizhalina L. Regional climate changes and their likely consequences [Internet resource] <https://pandia.ru/text/78/126/80943.php?ysclid=l6diwm2v4f960829070> (Accessed: 01.08.2022) (in Russian).
17. On the state of the environment of the Kirov region in 2020: Regional report / Ed. A.V. Albegova. Kirov, 2021. 205 p. [Internet resource] <https://www.kirovreg.ru/econom/ecology/%D0%A0%D0%B5%D0%B3%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%202020.pdf> (Accessed: 07.29.2022) (in Russian).
18. Levitin M.M. Protection of plants from diseases during global warming // *Zashchita i karantin rasteniy*. 2012. No. 8. P. 16–17 (in Russian).
19. Levitin M.M. Microorganisms in the context of global climate change // *Selskokhozyaystvennaya biologiya*. 2015. V. 15. No. 5. P. 641–647 (in Russian). doi: 10.15389/agrobiology.2015.5.641rus
20. Sheshegova T.K. Problems and priorities of scientific research in the field of agroecology and crop production in the Euro-North-East // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2006. No. 8. P. 13–15 (in Russian).
21. Sheshegova T.K., Shchekleina L.M., Shchenikova I.G., Martyanova A.N. Dependence of the fungal infection of grain crops on the seasonal dynamics of climatic factors // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2017. V. 31. No. 4. P. 58–62 (in Russian).
22. Sheshegova T.K. Analysis of the phytosanitary state of spring grain crops in the Kirov region (analytical review) // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2015. No. 5 (48). P. 10–14 (in Russian). doi: 10.30766/2072-9081.2015.48.5.10-14
23. Shchekleina L.M. Influence of weather factors on individual periods of development of the fungus *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. and the level of ergot injuriousness in the Kirov region // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2019. V. 20. No. 2. P. 134–143 (in Russian). doi: 10.30766/2072-9081.2019.20.2.134-143
24. Monastyrsky O.V. Toxin-forming fungi parasitizing on grain // *Agro XXI*. 2001. No. 11. P. 6–7 (in Russian).
25. Monastyrsky O.V. Bioprotection of grain crops from toxinogenic microorganisms // *Zashchita i karantin rasteniy*. 2003. No. 2. P. 5–8 (in Russian).
26. Shchekleina L.M., Sheshegova T.K. Agroecological aspects of the development of *Puccinia dispersa* Eriks. and *Puccinia graminis* Pers. on crops of winter rye in the Kirov region // *Bulletin of the Kazan State Agrarian University*. 2019. V. 14. No. 1 (52). P. 65–70 (in Russian). doi: 10.12737/article_5ccedbb2724b13.28786713
27. Sanin S.S. Phytosanitary problems of intensive crop production // *Zashchita i karantin rasteniy*. 2013. No. 12. P. 3–8 (in Russian).
28. Sanin S.S., Sandukhadze B.I., Mamedov R.Z., Karlova L.V., Korneva L.G., Ruleva O.M., Sanin S.T. Technologies of intensive grain production and plant protection // *Zashchita i karantin rasteniy*. 2021. No. 5. P. 9–16 (in Russian).
29. Sanin S.S., Sandukhadze B.I., Mamedov R.Z., Karlova L.V., Korneva L.G., Ruleva O.M. Intensification of wheat grain production, phytosanitary and plant protection in the central region of Russia // *Agrochemistry*. 2020. No. 10. P. 36–44 (in Russian). doi: 10.31857/S0002188120100105
30. Sanin S.S., Korneva L.G., Zhokhova T.P., Polyakova T.M., Akimova E.A. Determination of wheat yield losses from septoria leaves and ears // *Zashchita i karantin rasteniy*. 2012. No. 8. P. 47–49 (in Russian).
31. Zadvornev V.A., Porsev I.N., Sazhina S.V. Integrated protection of potato varieties from pests and diseases in the southern Trans-Urals // *Priority directions of regional development. Sbornik statey po materialam III Vserossiyskoy (natsionalnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Kurgan, 2022. P. 336–341 (in Russian).
32. Sheshegova T.K., Volkova L.V., Shchekleina L.M. Collection of VIR as a reserve of spring soft wheat gene pool resistant to septoria // *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Selskokhozyaystvennye nauki. Ekonomicheskie nauki"*. 2019. V. 5. No. 1. P. 57–65 (in Russian). doi: 10.30914/2411-9687-2019-5-1-57-65
33. Shchekleina L.M., Sheshegova T.K. White ears on varieties of winter rye in the agroecological conditions of the Kirov region // *Agrarnyy vestnik Urala*. 2020. No. 02 (193). P. 27–36. doi: 10.32417/1997-4868-2020-193-2-27-36
34. Sheshegova T.K., Shchekleina L.M. Composition of microorganisms found in winter rye grain in Kirov region // *Russian Agricultural Sciences*. 2021. V. 47. No. 4. P. 370–376. doi: 10.3103/S1068367421040170

35. Gavrilova O.P., Orina A.S., Gogina N.N., Gagkaeva T.Yu. Co-occurrence of metabolites of fungi *Alternaria* and *Fusarium* associated with grain crops // Russian Agricultural Science. 2020. No. 6. P. 20–23 (in Russian). doi: 10.31857/S2500262720060058
36. Afanasenko O.S., Havis N., Bepalova L.A., Ablova I.B., Maryenko V.I. Ramulariasis – a new barley disease for Russia // Zashchita i karantin rasteniy. 2012. No. 1. P. 11–13 (in Russian).
37. Shchekleina L.M. Monitoring of diseases of winter rye in the Kirov region and possible directions of breeding for immunity // Agricultural Science Euro-North-East. 2020. No. 21 (2). P. 124–132 (in Russian). doi: 10.30766/2072-9084.2020.21.2.124-132
38. Shchekleina L.M., Sheshhegova T.K. Diseases of *Secale cereale* L. in the Kirov region and genetic sources of resistance for breeding // Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University. 2020. No. 6. P. 86–92 (in Russian). doi: 10.36718/1819-4036-2020-6-86-92
39. Gagkaeva T.Yu., Gavrilova O.P., Levitin M.M., Novozhilov K.V. Fusarium of grain crops // Supplement to the journal “Protection and Quarantine of Plants”. 2011. No. 5. 51 p. (in Russian).
40. Zhuykova O.A., Batalova G.A., Sheshhegova T.K. The state of the oat gene pool in terms of resistance to major diseases and swedish fly, the sources of the trait in the North-East of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation // Agricultural Science Euro-North-East. 2011. No. 5 (24). P. 4–7 (in Russian). doi: 10.30766/2072-9084.2011.24.5.04-07
41. Eremin D.I., Menshchikova A.A., Cherevko T.M. Diseases of oats and its genetic resistance // Epokha nauki. 2022. No. 29. P. 12–17 (in Russian). doi: 10.24412/2409-3203-2022-29-12-17
42. Review of the phytosanitary state of crops in the Russian Federation in 2021 and the forecast for the development of harmful objects in 2022. Moskva: Ministerstvo selskogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii, Rossiyskiy selskokhozyaystvennyy tsentr, 2022. 476 p. (in Russian).
43. Shchekleina L.M., Sheshhegova T.K. The problem of ergot cereals (*Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.): history and modernity (review) // Theoretical and Applied Ecology. 2013. No. 1. P. 5–12 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2013-1-005-012
44. Sheshhegova T.K., Shchekleina L.M. Ecological aspects of the development of ergot (*Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.) on rye crops // Agroekologicheskiy vestnik. 2016. No. 7. P. 83–90 (in Russian).
45. Shchekleina L.M., Sheshhegova T.K., Utkina E.I. Search for immunologically valuable genotypes of winter rye using individual parameters of nonspecific resistance // Agricultural Science Euro-North-East. 2021. No. 22 (4). P. 507–517 (in Russian). doi: 10.30766/2072-9084.2021.22.4.507-517
46. Shchekleina L.M., Sheshhegova T.K. The harmfulness of ergot on new varieties of winter rye in the Kirov region // Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya “Selskokhozyaystvennyye nauki. Ekonomicheskie nauki”. 2018. V. 4. No. 2. P. 83–89 (in Russian). doi: 10.30914/2411-9687-2018-4-2-83-89
47. Domracheva L.I., Skugoreva S.G., Starikov P.A., Gornostaeva E.A., Ashikhmina T.Ya. Microbes-antagonists against phytopathogenic bacteria and fungi (review) // Theoretical and Applied Ecology. 2022. No. 2. P. 6–14. doi: 10.25750/1995-4301-2022-2-006-014
48. Bykov V.A., Sokolskaya T.A., Sidelnikov N.I. A unique center for medicinal plant growing // Plant Protection and Quarantine. 2012. No. 8. P. 3–7.
49. Sheshhegova T.K., Shchekleina L.M., Zhelifonova V.P., Antipova T.V., Baskunov B.P., Kozlovsky A.G. The resistance of rye varieties to ergot and the content of ergoalkaloids in the sclerotia of *Claviceps purpurea* in the conditions of the Kirov region // Mikologiya i fitopatologiya. 2019. V. 53. No. 3. P. 177–182 (in Russian). doi: 10.1134/S0026364819030127
50. Sheshhegova T.K., Shchekleina L.M., Antipova T.V., Zhelifonova V.P., Kozlovsky A.G. Search for rye and wheat genotypes resistant to *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. and not accumulating ergoalkaloids in the sclerotia of the fungus // Selskokhozyaystvennaya biologiya. 2021. V. 56. P. 549–558 (in Russian). doi: 10.15389/agrobiologiya.2021.3.549rus
51. Saitov V.E., Farafonov V.G., Saitov A.V. Experimental substantiation of the effective height of a grain falling by a stream of liquid in an ergot release device // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. V. 341. Article No. 012123. doi: 10.1088/1755-1315/341/1/012123
52. Sysuev V.A., Saitov V.E., Farafonov V.G., Suvorov A.N., Saitov A.V. Theoretical background of calculating of the parameters of the device for grain cleaning from ergot sclerotia // Russian Agricultural Sciences. 2017. V. 43. No. 3. P. 273–276. doi: 10.3103/S1068367417030156
53. Sysuev V.A., Saitov V.E., Farafonov V.G., Saitov A.V. Investigation of the parameters of grain movement in the liquid of an ergot removal device // Inzhenernye tekhnologii i sistemy. 2019. No. 29 (2). P. 248–264 (in Russian). doi: 10.15507/2658-4123.029.201902.248-264