

УДК 551.521.31

## **Научно-методические перспективы изучения темпов развития яровых зерновых культур как одного из критериев их урожайности**

***И.А. Шульгин***

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия;*

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр  
Российской Федерации, г. Москва, Россия  
ufarin@yandex.ru*

Рассматривается возможность оценки продукционного процесса в онтогенезе яровых злаков на основе количественного анализа последовательных этапов формирования органов побега растений. Отмечается, что анализ длительности отдельных этапов органогенеза может позволить оценивать количество образуемых метамерных органов стебля и соцветия и тем самым заблаговременно конкретизировать агрометеорологический прогноз урожайности. Показано, что количество и скорость формирования органов на каждом из этапов органогенеза зависит как от метеорологических условий, так и от реализации генетической программы развития растений, направленной на работу организмов с максимальной эффективностью использования поглощенной солнечной радиации за сутки и на образование максимальной в данных условиях урожайности в целях сохранения вида. Подчеркивается, что на основе данных наблюдений за длительностью этапов органогенеза, как и давно известных фаз развития растений, целесообразна разработка биоклиматического «паспорта» той или иной культуры, характеризующего «норму» ее реакции как на предшествующие, так и на современные климатические условия данного региона. «Паспорт» необходим для сопоставления с ним информации о состоянии растений и скорости их развития в текущем году, что требуется для составления агрометеорологического прогноза возможной конечной продуктивности рассматриваемой культуры.

*Ключевые слова:* агрометеорология, климат, пшеница, развитие, этапы органогенеза, урожайность, перспективы исследований

## **Scientific and methodological prospects of studying the development rates for spring cereal crops as one of the criteria of their productivity**

***I.A. Shul'gin***

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;  
Hydrometeorological Research Center of Russian Federation, Moscow, Russia  
ufarin@yandex.ru*

The possibility to assess the production of spring cereals during their ontogenesis on the basis of the quantitative analysis of consecutive stages of plant shoot organ formation is considered. It is shown that the analysis of duration of individual organogenesis stages allows estimating the number of created metamerous organs of stems and inflorescences

and, hence, to improve the agrometeorological prediction of cereal crop yields. It is also shown that the number and formation rate of organs at each organogenesis stage depends both on weather conditions and on the implementation of the unique genetic program of plant development aimed at the organism functioning with a maximum efficiency of using daily absorbed solar radiation and at the maximum crop productivity under current conditions for the plant species conservation purposes. It is emphasized that the observations on organogenesis stage durations as well as well on the known phases of plant development can be used for the elaboration of the "bioclimatic passport" of individual crop species reflecting its "normal" response to the past and modern climatic conditions in a given region. Such "passport" is necessary for the comparison of available data on the state of crops and on the rate of their development in the current year in order to prepare the agrometeorological forecast of potential crop production.

*Keywords:* agricultural meteorology, climate, wheat, development, organogenesis stages, productivity, research prospects

В научной и научно-практической агрометеорологической деятельности среди многих решаемых и новых задач существует необходимость акцентировать внимание на ряде принципиально важных из них.

Одна заключается в необходимости иметь все более детальное научно обоснованное представление о величине максимально возможной и максимально реальной биологической продуктивности и урожайности хозяйственно-ценных органов той или иной культуры, обусловленной наиболее благоприятными для роста и развития погодно-климатическими условиями, и достаточно точно охарактеризовать эти условия [13].

Иначе говоря, необходимо иметь биометеорологический и биоклиматический эталон максимально возможной урожайности той или иной культуры и условий ее реализации.

О величине максимальной урожайности можно судить прежде всего на основе ее оценки на опытных полях, на посевах в селекционных центрах, экспериментальных станциях, получаемой в те или иные годы при одной и той же агротехнике возделывания растений.

Одновременно в этих же условиях в ходе онтогенеза растений можно рассматривать биологические параметры растений и посева в целом и, прежде всего, процессы органогенеза растений – длительность периодов (этапов), в течение которых происходит формирование качественно новых вегетативных и репродуктивных макро- и микроорганов и количество формируемых структур [25, 27, 29].

Тем самым появляется возможность оценивать параметры отдельных метеорологических факторов, при которых проходил соответствующий этап развития растений.

В частности, речь может идти о суточных значениях, интенсивностях и суммах приходящей солнечной радиации в области физиологически активной радиации (ФиАР, 380–740 нм) и фотосинтетически активной радиации (ФАР, 380–760 нм), минимальных, максимальных, среднесуточных, дневных, ночных величинах температуры воздуха и почвы, об осадках и запасах продуктивной влаги в почве на разных ее глубинах и т. д.

На основе таких величин нетрудно оценить суммарное значение этих же параметров за каждый этап, как и за другие по длительности периоды (пентаду, декаду, месяц и т. д.).

В настоящее время, как и ранее, для оценки состояния посевов в динамике их роста и развития используются агрометеорологические наблюдения на сети метеорологических станций, привлеченных к обслуживанию сельского хозяйства.

Важной частью этих работ, проводимых согласно [7] и Наставлению [40], являются, как известно, фенологические наблюдения за наступлением фаз развития растения и составление агрометеорологических бюллетеней [37]. Однако при этом регистрируются внешние изменения морфологических признаков (у злаков – прорастание зерновок, всходы, третий лист, кущение, выход в трубку, появление нижнего стеблевого узла, колосшение, цветение, оплодотворение и три фазы спелости зерновок).

Формирование органов плодоношения в начальные фазы, так же как и в межфазные периоды, остается скрытым от наблюдателей.

Между тем необходимо устанавливать продолжительность этапов развития органов, их количественные параметры, точные границы между этапами и, разумеется, оценивать изменения в длительности этапов.

Такая возможность существует – метод биологического контроля за поэтапным развитием растения был достаточно давно разработан и широко использован в сельскохозяйственной научно-практической работе [26, 31].

Основанием для этого было хорошо известное положение о том, что типичный морфогенез растений и их побегов, реализация наследственного кода информации определяется степенью оптимальности условий, необходимых для прохождения этапов органогенеза, роста органов и для перехода растения от одного этапа к другому [3, 24, 25].

В зависимости от степени нормальности условий и оптимизации в пределах, определенных наследственностью, наблюдается количественная варибельность признаков, отражающаяся на общей величине биомассы растений и их семенной продуктивности. Так, например, у злаков в таких условиях на II этапе органогенеза определяют типичное для вида число продуктивных побегов кущения, число узлов, междоузлий, листьев; на III–IV этапах – потенциальную величину соцветий (число колосков в колосе, веточек в метелке); на IV–V этапах – образование потенциально возможного числа цветков; на IX–X этапах – количество оплодотворенных цветков (зерновок); на XI–XII этапах – размеры и качество плодов и семян.

Замедление темпов прохождения этапов органогенеза при отклонении от оптимальных условий может вызывать увеличение числа метамерных органов соответственно тому, на каком этапе имела место задержка в развитии. Так, на II этапе может возрасти число узлов и междоузлий, на IV–V этапе – число цветков и т. д.

Замедление темпов развития на ранних этапах в сочетании с интенсивным ростом усиливает онтогенетическую изменчивость и повышает степень дивергенции признаков на более поздних этапах. Наоборот, отклонение от оптимума условий при ускорении в темпах прохождения отдельных этапов и при снижении интенсивности ростовых процессов может вызывать уменьшение числа метамеров соответственно тому, на каком этапе имели место эти явления. Так, на всех этапах ускорение развития ведет к формированию карликовости (нанизма): уменьшается высота растений, число листьев, размеры соцветия, число цветков, плодов.

В годы со значительным дефицитом влаги в период прохождения растениями VI–VII этапов органогенеза резко падает количество нормальной (фертильной) пыльцы, нарушается формирование завязей, что приводит к недоразвитию цветков и резкому снижению урожая.

Анализ продолжительности этапов и количество формируемых в это время соответствующих метамерных органов (т. е. биологический контроль за развитием растений) оказался важным не только для оценки текущего состояния растений, но и для предварительного прогноза возможной урожайности культуры [4].

Так, в частности, биологический контроль темпов и характера прохождения этапов органогенеза был использован в оценке выживания зимующих культур [28], формирования элементов продуктивности озимой пшеницы (4,30), в оценке гетерогенности (качества) биологической продукции, включающей семенную и т. д. [33].

Анализ прохождения этапов органогенеза был широко использован и продолжает использоваться в селекционной работе [38, 51].

Впервые в селекции, по инициативе академика В.Н. Ремесло, в Мироновском научно-исследовательском институте селекции и семеноводства пшеницы (МНИИССП) был создан отдел морфофизиологических исследований потенциальной и реальной продуктивности растений, испытываемых в конкурсном и предварительном сортоиспытании, а также на опытных посевах отдела сортовой агротехники [38].

Наблюдая за ходом органогенеза, можно значительно раньше, чем при фенологических наблюдениях, распознать неблагоприятные действия на растения метеорологических факторов, влияние недостатка питания, повреждение скрытокорневыми и скрытостеблевыми вредителями, принять меры агротехнического характера.

Учитывая простоту метода анализа органогенеза, его оперативность, возможность включения данных биологического контроля в систему механической обработки анализа, перспективы внедрения метода, было сочтено желательным рекомендовать его работникам сети агрометстанций [31].

К сожалению, по ряду причин (отсутствие соответствующих агрометеорологических кадров, в том числе выпускников с.-х. вузов, микроскопической техники, в частности бинокюляров) регистрация и анализ этапов органогенезов не получили в гидрометслужбе широкого распространения.

Поэтому основным методом учета состояния растений остается регистрация наступления видимых невооруженным глазом фенофаз, что не снимает с повестки дня перспективную целесообразность использования в будущем для агрометеорологических прогнозов урожайности растений анализа темпов органогенеза, причем на новой, более разработанной основе оценки взаимосвязей в системе погода-климат-урожай.

Комплексный анализ скорости прохождения этапов органогенеза и фенофаз во время роста растений и последующий анализ снопового материала, особенно количества вегетативных и продуктивных побегов, размеров междоузлий, структуры колоса с зерновками, позволяет «насытить» знания о начальных фазах (этапах) значительной биологической информацией, дающей представления о темпах и количестве формирования отдельных, особенно генеративных структур и, в конечном итоге, об урожайности.

Скорость формирования органов (т. е. прохождения этапов органогенеза) может рассматриваться и как фактор, прямо или косвенно влияющий на урожайность, и как критерий, заблаговременно характеризующий ее возможную величину.

Именно комплексный анализ скорости развития растений на отдельных этапах органогенеза лег в основу интенсивных морфофизиологических и морфогенетических работ, проводящихся в селекции в настоящее время и направленных на выведение новых продуктивных морфотипов и сортов, и в частности гречихи – культуры с огромной пищевой и лекарственной ценностью [16, 23, 41, 48, 69].

В этом направлении особо значимой стала в последние десятилетие научно-исследовательская и научно-методическая деятельность Федерального научного центра зернобобовых и крупяных культур (г. Орел) и Орловского государственного аграрного университета им. Н.В. Пархина.

В этих учреждениях разрабатывается новый морфофизиологический метод, базирующийся на представлениях о целостном организме, этапности и специфичности органогенеза [32, 49, 50, 53, 54].

В основе этого метода лежит принцип использования такого системного показателя, как метамерная архитектура растения – система информации о количестве, размерах, пространственном размещении, скорости развития и функционирования формируемых в онтогенезе одноименных (метамерных) органов растений, определяющих адаптивные и продукционные свойства сортов [51, 52, 56, 57]. При этом морфогенетические признаки выступают как маркеры этих свойств сортов растений, как индикаторы конечной урожайности.

Для К. А. Тимирязева было бы отрадно знать – будь он ныне жив, – что его предвидение о необходимости и реальности возникновения новых наук об «экспериментальном морфогенезе», изучающих изменения и превращения органических форм, успешно реализуется [6, 46].

По отношению к яровым зерновым культурам двуединая оценка свойств растений и метеоклиматических параметров за ряд лет с благоприятными для растений условиями, в течение которых получали очень

высокую и близкую по величине урожайность, могли бы позволить иметь биометеорологический и биоклиматический «паспорт» оптимальности роста и развития культуры в регионе ее постоянного культивирования.

Для того, чтобы рассматривать длительность фаз и этапов как «эталон» темпов прохождения онтогенеза (органогенеза), как и «эталон» нормальности метеоусловий в период вегетации (при оптимальной агротехнике), необходимо принять допущение, что отвечающая этим наблюдаемым фазам биологическая продуктивность и урожайность является, действительно, фактически максимальной.

Необходимо быть уверенным и в том, что и меньшая урожайность, получаемая в другие, но не экстремальные по условиям годы, также биологически максимальна в изменившихся в погодно-климатических условиях и является оптимальной для растений.

К сожалению, судить по урожайности о «нормальности», как и о максимальной этой урожайности, как и о «нормальности» условий, нельзя.

Разъясним наши представления о «норме», «нормальности» урожайности и условий.

Под «биологической нормой» погодно-климатических условий (БНУ) можно понимать диапазон условий, в пределах которого растения за счет своей фенотипической (онтогенетической) изменчивости, на основе саморегуляции, сохраняют динамический гомеостаз процессов, т. е. постоянство соотношений между основными физиологическими процессами (в частности, фотосинтезом и дыханием) за сутки, и при этом работают с одинаковой эффективностью использования ( $ЭИ = КПД$ ) поглощенной ФАР [5, 34, 47, 58, 59].

В пределах БНУ могут формироваться различные по биологической продуктивности и урожайности посевы с.-х. культур.

Именно в пределах диапазона БНУ по изменению состояния и свойств растений в определенный период их развития можно составить предварительное мнение о их конечной продуктивности, если после этого периода условия для роста существенно не изменятся.

Понятие «биологическая норма условий», как диапазон, по существу аналогично принятому в медицине понятию «референсные значения», т. е. диапазон значений, в пределах которых величина соответствующего параметра характеризует нормальность той или иной функции.

Собственно говоря, даже на относительно «бытовых» метеорологический приборах (измеряющих температуру и влажность воздуха, атмосферное давление) выделен (отмечен) диапазон «комфорта», т. е. зона биологической нормальности условий для человека.

Именно наличием диапазона условий характеризуется биологическая норма. В метеорологии же под «нормой» (климатической нормой) условий понимается среднегодовое значение величины того или иного параметра для данного периода времени, данной территории и т. д.

За пределами диапазона БНУ меняется соотношение между физиологическими процессами между вегетативными и генеративными органами,

снижается ЭИ поглощенной ФАР и, в итоге, продуктивность растений, ухудшается качественное состояние репродуктивных органов.

В пределах БНУ существует более узкий диапазон т. н. оптимальных (наилучших) для растений условий, обеспечивающих максимально возможную в данных условиях продуктивность. Реализуется тем самым принцип оптимальности биологических систем, т. е. принцип формирования максимальной продуктивности (биологической и ее семенного компонента) [5, 47, 63].

Понятно, что этот принцип в наибольшей мере реализуется в наиболее благоприятные погодно-климатические годы и на фоне необходимого и достаточного водно-корневого питания.

Существует, однако, один, причем единственный способ оценить величину максимально возможной биологической продуктивности и урожайности, какую можно было получить в данном году, и этот способ базируется на оценке эффективности использования приходящей к посевам, поглощенной ими лучистой энергией Солнца, создании ежесуточных приростов биомассы в период фотосинтетически активной деятельности (ФАД) растений [35, 36, 63].

В основе этого экспериментально-теоретического способа лежит разработанное представление (концепция) об энергетическом балансе растений и посевов в целом [58], в котором величина энергии, запасенной к концу вегетации (к созреванию зерновок в колосе) в общей биомассе на единице площади посева соотносится с величиной поглощенной посевом энергии в области ФАР за период работы фотосинтетического аппарата.

Исследованиями, проведенными в оптимальных гидротермических и радиационных условиях камер искусственного климата фитотрона ИФР АН СССР, было установлено, что различные виды растений, взятые для опытов (яровая пшеница, кукуруза, подсолнечник, томаты, редис и др.), используют поглощенную ФАР за период ФАД с эффективностью порядка 7–8 %, что соответствует максимальной теоретической величине, и порядка 6 % – относительно приходящей ФАР [34].

В течение вегетации ЭИ поглощенной ФАР (или, что то же, КПД поглощенной ФАР по биомассе) посевов возрастала и к моменту начала ценотического взаимодействия растений по свету (при индексе листовой поверхности, ИЛП =  $0,4 \text{ м}^2/\text{м}^2$ ) достигала 10 %. К периоду радиационного смыкания посева (ИЛП около 2) ЭИ ФАР достигала 11 %, а к периоду максимальных приростов биомассы при ИЛП порядка 4–5, т. е. к периоду предцветения, возрастала до 12,0–12,5 %, что отвечает теоретически максимально возможным и экспериментально установленным величинам.

В естественных условиях, где всегда имеет место межсуточная изменчивость радиационного режима, реальную максимально возможную величину ЭИ поглощенной ФАР можно принять за 5 % [31, 32, 35].

В научно-методических и научно-практических целях впервые в агрометеорологии на основе использования уравнения энергетического

баланса было проведено изучение радиационно-обусловленной климатически максимально возможной урожайности ранней яровой пшеницы при принятом КПД ФАР 5 % [45, 60–62, 64–68] и показано, что, действительно, в Центрально-Черноземной области и Нечерноземье урожайность (абсолютно сухого зерна) может достигать 50–55 ц/га.

Выбор пунктов (метеостанций) был обусловлен тем, что близко от них расположены актинометрические станции ГГО им. А.И. Воейкова, ежесуточно измерявшие часовые значения приходящей интегральной суммарной коротковолновой радиации (КВР), которые мы пересчитывали к ФАР умножением на принятый в физиологической и метеорологической литературе коэффициент 0,48 [1, 47, 58].

Если принять за основу величину КПД порядка 5 % поглощенной ФАР, то по отношению к суточной сумме приходящей суммарной ФАР, при которой можно получать высокую биологическую продуктивность и урожайность, целесообразно, по-видимому, принимать величину поступающей ФАР при 1–2 баллах облачности за вычетом радиации в то количество часов, в течение которых выпадают осадки.

Как следует из [1], для Московского региона такая суточная сумма приходящей ФАР может составлять примерно 9–11 МДж/м<sup>2</sup>, и в этом случае зерновая урожайность яровой пшеницы может достигать 50–60 ц/га.

Облачность, как известно, в зависимости от типа облаков, может снижать суточную сумму приходящей ФАР в 4–5 раз. В этом случае максимальная интенсивность приходящей ФАР порядка 350–400 Вт/м<sup>2</sup> в около полуденные часы в условиях облачности не превышает 80–100 Вт/м<sup>2</sup>, что изменяет интенсивность биологических процессов, но тем не менее не нарушает их биологически нормального протекания, хотя это и не устраивает человека из-за более низкой хозяйственно ценной продукции.

Этими работами производственные параметры растений в посевах были объединены с морфометрическими и морфофизиологическими, позволяющими впервые объективно оценивать климатически и агротехнически обусловленную урожайность, а также более четко оценивать скорость развития растений, т. е. прохождения ими этапов и фаз органогенеза, и причины их ускорения или замедления.

В практическом плане оценка КПД поглощенной ФАР посевов достаточно проста. Необходимо после радиационного смыкания посева, поглощающего примерно 80 % ФАР, измерять поступление интегральной суммарной радиации за сутки, из пробной площади посева (допустим, 0,25 м<sup>2</sup>) снять надземную часть растений и затем, высушив, найти величину ее биомассы. Такую же операцию желательно провести через 5–7 дней.

Зная приход КВР и ФАР за этот период и зная разность значений биомассы, получим величину прироста массы за эти же 5–7 суток.

Отношение величины запасенной энергии в приросте биомассы к количеству поступившей солнечной радиации (ФАР) за эти же дни даст



величины КПД приходящей ФАР и, с учетом ее поглощения посевом, КПД поглощенной ФАР, однозначно характеризующие состояние посева.

К сожалению, эти новые – радиационно-обусловленные – возможности не могут в настоящее время быть использованы в агрометеоклиматической практике, поскольку информация о суточном приходе суммарной КВР на основе ее непрерывной регистрации ведется на крайне ограниченном количестве актинометрических станций, далеко отстоящих друг от друга. Отсюда следует, что более успешная с.-х. деятельность, как и работа многих селекционных станций, нуждается в существенном расширении сети актинометрических станций, измерения на которых имели бы не только научную ценность, но и служили «индикатором» состояния посевов.

Таким образом, можно утверждать, что рассматриваемое морфофизиологическое направление исследований имеет большую значимость, актуально и перспективно и, вполне естественно, нуждается в развитии.

Одновременно это направление работ необходимо для решения второй важнейшей задачи – непрерывного уточнения методов агрометеорологической оценки текущего состояния посевов и, на этом основании, прогнозировании конечной продуктивности и урожайности.

Формируемые количественные представления о климатически обусловленной «норме» темпов прохождения последовательных этапов (фаз) развития растений лежат, как известно, в основе сопоставления с ней текущей информации о состоянии посевов, о количественной характеристике образуемых в данную фазу органов и, в лучшем случае, сохраняющихся в последующие фазы.

Так, к примеру, можно указать на фазу кущения, в течение второй половины которой на IV этапе органогенеза происходит образование в конусе нарастания побега зачаточных цветочных бугорков – будущих цветков. У яровой пшеницы их может быть 100–180 и более; их количество определяется, с одной стороны, более ранними условиями формирования будущего стебля, детерминируемого интенсивностью света в период всходов (1-й критический радиационный период, 1-й КРП), и, с другой стороны, достаточно медленным прохождением этого этапа.

Чем больше образуется цветков на IV этапе, тем выше вероятность образования большего количества зерновок в колосе, если этому не помешают последующие гидротермические и радиационные неблагоприятные условия во время следующей фазы роста и развития.

Естественно, что чем больше мы знаем о климатически обусловленной «норме» параметров растений и чем больше можем количественно оценить такие же параметры растений в данном году, тем точнее и надежнее будет агрометеорологический прогноз, тем все более благоприятным он будет.

Безусловно, что все это может способствовать непрерывному улучшению краткосрочного и среднесрочного метеорологических прогнозов, позволяющих учитывать тенденции изменений в продукционном процессе.

Этот аспект работы становится все более важным в связи с изменением как глобального, так и региональных климатов [2, 12, 18, 19, 42].

Увеличение интенсивности экстремальных (опасных) погодных явлений, увеличение их частоты [2, 44] делает задачу агрометеорологического прогноза урожайности все более сложной, все более социально и экономически значимой [8–10, 39], и в этом отношении решаемость рассматриваемой второй научно-прикладной задачи неразрывно связана с научными физиолого-метеорологическими исследованиями.

К этому следует добавить, что возрастание сложности составления агрометеорологических прогнозов связано с увеличением некоторой неопределенности в отношении времени и интенсивности возникновения опасных погодных явлений [8] и связанных с ними изменений в радиационном режиме.

В данном случае речь идет о том, что одно и то же опасное явление (по интенсивности, длительности, тенденции действия) может оказать существенно разное влияние в зависимости от того, придется ли оно в так называемые критические периоды роста и развития, когда особенно высока их чувствительность к интенсивности радиации [59], запасам почвенной влаги к температуре и влажности воздуха, или опасные явления будут кратковременными и минуют время наступления критических периодов, длительность каждого из которых равна примерно 3–5 дней.

В связи со сказанным и в связи с особой важностью агрометеорологических прогнозов возникает принципиально важный вопрос – можем ли мы, не дожидаясь результатов составления климатически обусловленной нормы в отношении длительности периода вегетации культуры, длительности отдельных периодов развития, использовать существующие общепринятые материалы, полученные в 30–80-е годы XX столетия, относительно которых судить о возможном отклонении состояния посевов в текущие годы. Ответ на этот вопрос важен потому, что действительно существуют сомнения в правомерности использования данных о темпах развития растений середины прошлого века. За этот период могли измениться многие условия культивирования посевов: агротехника, внедрение новых сортов, количество и качество вносимых удобрений и, что особенно важно, не поддающиеся регуляции изменения климатических условий.

Именно от метеорологических и климатических условий зависят сроки сева [11, 14, 30, 43, 55], применение более ранних или более позднеспелых сортов, время созревания плодов и уборки урожая и т. д.

Между тем, глубоких и системных исследований по данной проблеме, насколько нам известно, не проводилось, хотя данные достаточно четко указывают на то, что в пределах одного и того же региона климатические изменения имели место.

Проиллюстрируем сказанное на основе данных о термическом режиме, полученных на метеостанциях, расположенных в различных частях Европейской территории России, в том числе измерявших термический режим на окраинах Москвы (Метеорологическая обсерватория МГУ

им. М.В. Ломоносова и Метеорологическая обсерватория им. В.А. Михельсона МСХА имени К.А. Тимирязева).

В табл. 1 даны значения среднесуточной температуры воздуха (среднее за месяц) в весенне-летний период, в течение которого культивируют яровые зерновые культуры, прежде всего пшеницу и ячмень.

**Таблица 1.** Среднесуточная температура воздуха за месяц в разные климатические периоды, 1901–2017 гг.

**Table 1.** Mean daily air temperature for various climatic periods

Месяц	Годы			
	1901–1930 (А)	1931–1960 (Б)	1961–1990 (В)	1991–2017 (Г)
<b>Москва</b>				
IV	4,22	4,74	5,83	7,27
V	11,28	11,73	13,33	13,80
VI	15,57	16,56	16,94	17,42
VII	17,30	18,75	18,38	20,01
VIII	15,57	17,14	16,71	17,92
<b>Тамбов</b>				
IV	–	5,6	6,9	7,7
V	–	13,9	14,5	14,9
VI	–	18,8	18,1	18,3
VII	–	20,4	19,4	20,8
<b>Оренбург</b>				
IV	4,9	5,5	6,6	7,5
V	15,1	15,0	15,5	15,8
VI	20,6	20,2	19,8	20,6
VII	22,7	22,1	22,1	22,4

В табл. 1 видно, что в апреле, мае и июне температура воздуха за период 1901–2017 гг. становилась все более высокой. Если принять за точку отсчета климатические значения температуры воздуха в период 1901–1930 гг., то вполне отчетливо проявляется тренд ее возрастания, обусловленный глобальными и региональными климатическими изменениями в XX и начале XXI веков.

В табл. 2 показано, что повышение температуры воздуха особенно ощутимо в последний период 1991–2017 гг., причем в большей мере в течение апреля-мая и июня-августа.

При сравнении климатической среднесуточной температуры воздуха в период 1961–1990 гг. с предшествующим периодом 1931–1960 гг. видно, что различие (увеличение температуры) значительно для апреля-мая.

При таком же сравнении периода 1990-2017 гг. с предшествующим периодом 1961–1990 гг. следует, что значительное увеличение воздуха имело место в апреле и июле-августе.

**Таблица 2.** Изменение среднесуточной температуры в климатические периоды (Москва)

**Table 2.** Changes of the mean daily air temperature for various climatic periods (Moscow)

Месяц	Период				Г – В
	А	Б	В	Г	
IV	0	0,50	1,61	3,05	1,44
V	0	0,45	2,05	2,52	0,47
VI	0	0,99	1,37	1,85	0,48
VII	0	1,45	1,08	2,71	1,63
VIII	0	1,57	1,14	2,35	1,21
IV-V	0	0,43	1,78	2,73	0,95
VI-VIII	0	1,34	1,20	2,31	1,13
Год	0	0,70	1,34	2,65	1,31

Таким образом, весенне-летняя климатическая температура воздуха повысилась, причем особенно в начальный период вегетации растений – в апреле-мае (табл. 2).

Если бы мы не знали о темпах прохождения фенофаз посевами в современный период (Г) и предшествующий (В), а судили бы исключительно по изменению температуры воздуха за эти периоды, то могли бы сказать, исходя из общеизвестных физиологических закономерностей процессов развития растений, что длительность первой – начала второй фазы («посев – всходы» и «всходы – 3-й лист»), как, впрочем, и в период формирования плодов (зерновок) в колосе, должна стать меньше в современный период.

Если к тому же принять, что в этот климатический период в основном используются сорта, которые были и в предыдущие годы, то их реакция на потепление должна была бы быть весьма значительной в плане увеличения темпов развития в начальные фазы и сокращения длительности этих фаз.

Суть процессов, обуславливающих увеличение темпов развития (и сокращения поэтому длительности начальных этапов органогенеза), достаточно ясна.

Высеянные семена в воздушно-сухом состоянии начинают, при наличии влаги в почве (прежде всего в слое 0–20 см), через открывающиеся в оболочке аквапорины поглощать воду, набухать и активизировать физиологические процессы.

Основным процессом, начинающим поставлять энергию для роста, является дыхание, субстратом которого служат исключительно запасные вещества эндосперма семени.

Фактически зародышевый корешок, проросток эпикотеля, как и первые три листа, формируются за счет окислительно-восстановительных процессов (т. е. дыхания).

В этот период достаточно небольших запасов влаги в почве, и поскольку фотосинтетическая деятельность еще не начинается, то и нет большой необходимости в значительном корневом (минеральном) питании для последующих вторичных биосинтезов.

Интенсивность дыхания – пока еще «темнового» дыхания, без участия фотодыхания, связанного с фотосинтезом, – зависит в основном от температуры почвы и воздуха и, как любой химический и биохимический процесс, возрастает с увеличением температуры [3, 24].

Постепенно, к началу роста 3-го зародышевого листа, к процессам дыхания, как источнику энергии, подключается фотосинтез, появляется фотодыхание, менее зависящее от температуры воздуха, и скорость развития начинает замедляться, возвращаясь к той «норме», какая была у этого сорта в предшествующие климатические периоды.

Результатом уменьшения длительности I–II и начала III этапа органогенеза, идущих в первые фазы «набухание семян – всходы», «всходы – 3-й лист» и начало «3-й лист – кущение», является более быстрое формирование зачаточных узлов будущего стебля, вегетативных осей будущего соцветия при уменьшении их количества, цитологически выявляемая закладка зачаточных генеративных органов (колосков на III этапе и цветочных бугорков в начале IV этапа органогенеза) и, что особенно важно подчеркнуть, при несколько меньшем количестве заложившихся цветков.

Таким образом, хорошо известные зависимости темпов развития яровых растений в зависимости от температуры воздуха и имеющиеся представления об этом в учебниках по физиологии и морфофизиологии растений [3, 6, 24, 32] были подтверждены многочисленными экспериментальными биологическими и агрометеорологическими исследованиями.

Предварительный анализ данных о фазах (периодах) развития растений, имеющихся в архиве отдела агрометеорологических прогнозов Гидрометцентра России, а также в ряде справочных изданий (Агроклиматические справочники по областям, краям и республикам СССР) позволил Л.Л. Тарасовой (Гидрометцентр России, лаборатория яровых зерновых культур) рассмотреть для трех регионов ЕТР длительность обобщенных фаз развития яровой пшеницы в современный климатический период (2001–2018 гг.) и сопоставить таковую у посевов за ряд предшествующих периодов, включающих 1961–1990 годы.

Результат сопоставления данных представлен в табл. 3, из которой отчетливо следует, что в настоящее время темп развития в первый период (А, «посев – всходы»), а также и во второй (Б, «всходы – до выхода в трубку») ускорялся, и, соответственно, длительность периодов развития растений в Костромской и Тамбовской областях сократилась на 3–6 дней.

Можно полагать, что это действительно связано с различиями температуры воздуха в настоящий и предшествующий климатические периоды. Уже было подчеркнуто, что на длительность первых фаз развития

основное влияние может и должен оказывать именно тепловой режим почвы и воздуха, тем более что осадки и наличие влаги в почве в пределах этих периодов были практически одинаковы (табл. 4).

**Таблица 3.** Средне-климатическая длительность отдельных периодов онтогенеза яровой пшеницы

**Table 3.** Mean climatic duration of individual ontogenesis periods for spring wheat

Область	Продолжительность периода (дни)				
	А «посев – всходы»	Б «всходы – выход в трубку»	В «выход в трубку – колошение»	Г «колошение – молочная спелость»	«посев – молочная спелость»
Костромская	$\frac{16}{10}$	$\frac{26}{20}$	$\frac{18}{20}$	$\frac{18}{15}$	$\frac{78}{65}$
Тамбовская	$\frac{13}{10}$	$\frac{30}{26}$	$\frac{16}{19}$	$\frac{19}{13}$	$\frac{78}{68}$
Оренбургская	$\frac{11}{11}$	$\frac{31}{22}$	$\frac{16}{22}$	$\frac{17}{14}$	$\frac{75}{69}$

*Примечание.* В числителе – значения по Агроклиматическому справочнику, в знаменателе – рассчитанные Л.Л. Тарасовой за период 2001–2018 гг.

**Таблица 4.** Водный режим посевов яровой пшеницы

**Table 4.** Water regime of spring wheat crops

Область	Количество осадков за 1 день, мм			
	«посев – всходы»	«всходы – выход в трубку»	«выход в трубку – колошение»	колошение – молочная спе- лость
Костромская	$\frac{1.2}{1.6}$	$\frac{2}{3.4}$	$\frac{2.2}{3.0}$	$\frac{2}{2.3}$
Тамбовская	$\frac{1.1}{1.3}$	$\frac{1.6}{2.7}$	$\frac{2.0}{2.0}$	$\frac{2.3}{1.3}$
Оренбургская	$\frac{11}{11}$	$\frac{31}{22}$	$\frac{16}{22}$	$\frac{1.5}{1}$

*Примечание.* В числителе – значения по Агроклиматическому справочнику, в знаменателе – рассчитанные Л.Л. Тарасовой за период 2001–2018 гг.

То, что различия в длительности одноименных этапов (фаз) в первую очередь обусловлены метеоклиматическими условиями, доказывается не только многочисленными исследованиями, проведенными в факторостатных условиях камер, теплиц, оранжерей, но и непосредственно в полевых условиях при изменении агротехники и минерального питания.

Так, к примеру, в пределах двух-трех лет в одном и том же регионе (области, районе и т. д.) урожайность культуры может быть существенно различной – от 10–15 ц/га зерна до 40–50 ц/га, у той же яровой пшеницы

и ячменя [15–17] эти различия четко обусловлены гидротермическим и радиационным режимами в эти «соседние» годы.

Между тем в эти же годы не происходит существенная смена выращиваемых сортов и значимо не меняется агротехника.

Земледелец (агроном) в эти же два-три года еще до всходов вносит в почву удобрения и, естественно, не имея достоверного заблаговременного прогноза погоды на два-три месяца вперед, вносит некую среднюю, причем одинаковую дозу минеральных веществ, использование которых будет зависеть от погоды (осадков, запасов продуктивной влаги в почве, ее температуры), влияющей на фотосинтетическую деятельность и ростовые процессы.

Разумеется, мы принимали поэтому допущение, что при сравнении условий роста яровой пшеницы агротехника принципиально не изменилась; обработка семян до сева, если она и проводилась, влияет в основном не на скорость прорастания, а на количество самих проростков. Тепловой же режим семян в почве, как и после всходов, может существенно влиять на скорость биохимических процессов, на скорость использования имеющихся пластических веществ в эндосперме. Новые же ассимилянты для роста растений могут поступать лишь при формировании 3-го зародышевого листа, в котором, как и во 2-м, предшественники хлорофилла превращаются в хлорофилл, затем формируется структура фотосинтетического аппарата [36].

В то же время фаза «всходы – 3-й лист» проходит в течение первых 5–6 дней, когда рост и развитие растений совершается в условиях 1-го КРП [58, 59], во время которого существенное значение имеет интенсивность ФиАР и ФАР, влияющая через системы фитохромов и рецепторов синего-дальнего красного света на детерминацию проводящей системы будущего стебля, на строение и величину арматурных элементов, размеры будущих листьев и, в итоге, на величину потенциальной массы зерновок колоса и лишь отчасти на скорость процессов развития растений до начала их кущения.

Таким образом, из данных следует, что более быстрому развитию яровой пшеницы в первые периоды роста соответствует и более высокая среднесуточная температура воздуха в настоящее время по сравнению с предшествующими климатическими периодами.

Принимая, на основе сказанного, что именно климатические изменения – повышение среднесуточной температуры в мае-июне – в современный период являлись и являются основным фактором ускорения развития яровых злаков (пшеницы, ячменя), мы одновременно учитывали и другое, весьма важное обстоятельство, заключающееся в биологических свойствах самих объектов.

Это обстоятельство связано с тем, что в результате «зеленой революции», начавшейся в 50-е годы и продолжающейся и поныне, в ходе которой все шире и успешней ведется селекция на короткостебельность сортов и их устойчивость к полеганию, идет одновременно отбор на

увеличение доли массы колоса в общей биомассе растений, изменение формы и размеров «куста» [6, 20–22, 38, 51].

При этом в результате селекции на интенсивные сорта увеличивается роль и более скороспелых сортов, позволяющих хоть немного, но раньше «уходить» от часто повторяющихся засушливых условий июля-августа.

Однако где же берется тот исходный материал для селекции более скороспелых и в то же время более продуктивных сортов?

Ответ достаточно прост – исходным материалом являются те сорта (линии, гибриды), которые были способны, изменяясь, быстрее проходить онтогенез в условиях более теплого и засушливого климата (а в ряде случаев – в условиях высокогорий).

Иначе говоря, и в данном случае имела место изменчивость растений, адаптивность к изменяющимся климатическим условиям, которые проявлялись, в частности, в скорости прохождения тех или иных этапов (фаз) органогенеза.

Этим дополнительно подчеркивается, в итоге, роль климатических изменений в скорости развития растений, влияющей на конечную биологическую и хозяйственную продуктивность.

Однако из данных, приведенных в табл. 3, следует также, казалось бы к удивлению, что в течение периода «выход в трубку» и до фазы колошения, во время которых идет дифференциация осей и лопастей соцветия на IV этапе и закладываются и дифференцируются зачаточные цветки в зачаточных колосках, темп развития растений в современный климатический период может не только замедляться, но даже быть меньшим, чем в предыдущий.

Иначе говоря, длительность прохождения фаз с начала V и по VII этап возрастает, причем причиной этого ни температура, ни осадки не являются.

Это явление, с агрометеорологической точки зрения, могло бы быть связано со значительным понижением температуры воздуха в этот период онтогенеза, но оно, во-первых, было незначительным и, во-вторых, таким же, как и в другие периоды роста.

На первый взгляд, это явление кажется несколько странным, если его рассматривать только в связи с климатическими термическими условиями.

Однако необходимо самим себе, как и читателю, напомнить, что развитие растений осуществляется по генетически заданной программе, в которой реализуются важнейшие принципы деятельности целостной системы – саморегуляции и самооптимизации физиологических процессов, направленных на их сопряженность в целях максимальной эффективности фотосинтетической деятельности организма с образованием максимально возможной биомассы репродуктивных органов в данных условиях [47, 59], тесно коррелирующей с массой вегетативных органов и их функциями.



В нашем конкретном случае есть все основания считать, что в современный климатический период в результате более быстрого развития растений во время II – III этапа органогенеза и уже в первой половине IV этапа уменьшается количество метамерных, образуемых на IV этапе, зачаточных цветков. При этом неизбежно часть из них «теряется» на V этапе, другая часть – на VII этапе (при формировании гамет), так что в итоге в колосе будет образовано меньше зерновок, чем могло бы быть при типичном, более замедленном прохождении IV–VII этапов.

В итоге происходит следующее: на II этапе, во время всходов в 1-й КРП, нет причин для ухудшения детерминации хорошо развитых в последующем механических тканей стебля, несущего в конце онтогенеза колос с соответствующей массой зерновок. Однако на IV этапе закладывается меньше зачаточных цветков и, в итоге, мог бы быть поэтому меньшим по массе колос.

В этом случае, оценивая ситуацию с формированием и соотношением масс органов, растение уже после IV этапа ищет путь «увеличения» массы будущего колоса.

Между тем, растение в силу завершенности IV этапа уже не может сформировать дополнительное количество цветков (будущих зерновок), но единственное, что оно может сделать, это снизить величину «потери» цветков на V и VII этапах.

Для достижения этой цели растению необходимо уменьшить скорость развития до начала цветения, и это может быть сделано на основе не фотосинтетической деятельности, а эндогенной гормональной регуляции процессов морфогенеза.

Снижение скорости развития позволяет тем самым доразвиться слегка отстающим по своим физиолого-химическим свойствам цветкам до уровня хорошо уже сформированных и продолжить свою функциональную жизнь.

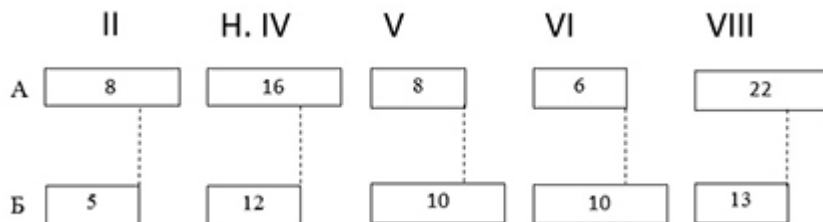
В результате остается меньше недоразвитых цветков и увеличивается доля хорошо развитых, за счет которых растение «компенсирует» возможную потерю массу колоса до уровня, пропорционального строению механических тканей стебля с конечным «константным» соотношением массы зерновок с объемом арматурных тканей всех междоузлий стебля [63].

В опытах, проведенных в 1973–1974 гг. И.А. Шульгиным и И.П. Щербиной, яровую пшеницу выращивали в кондиционируемых камерах фитотрона ИФР АН СССР в одном варианте (А) при температуре воздуха 20 °С «днем» и 14–15 °С «ночью». В другом варианте (Б) температура воздуха была днем 25 °С, а ночью 21–22 °С. Среднесуточная температура воздуха была равна 18 °С в варианте А, а в варианте Б – 24 °С. Длина дня (фотопериода) составляла в обоих случаях 16 ч и интенсивность ФАР – 150 Вт/м<sup>2</sup>.

Ход развития оценивали по состоянию конуса нарастания побега и дифференциации соцветия, согласно [25], в период «всходы – начало

формирования зародыша на X этапе органогенеза». Наблюдения проводили ежедневно и лишь изредка (по техническим причинам) через один день.

На рис. 1 представлена схема продолжительности этапов органогенеза.



**Рис. 1.** Схема темпов (скорости) прохождения этапов органогенеза у яровой пшеницы в зависимости от температуры воздуха при выращивании в искусственных условиях при интенсивности ФАР 150 Вт/м<sup>2</sup>. II-VIII – этапы органогенеза; вариант А – температура воздуха (день/ночь) 20/14 °С; вариант Б – температура воздуха (день/ночь) 25/21 °С. Цифры в ячейках – длительность периодов (дней).

**Fig. 1.** The rates of organogenesis stage changes for spring wheat growing in artificial conditions depending on the air temperature under PAR intensity 150 W/m<sup>2</sup>. II-VIII organogenesis stages; A – air temperature (day/night) 20/14 °C, B – the same as above, 25/21 °C. Numbers in cells – duration of the periods (days).

Видно, что длительность всего указанного периода развития в варианте А достигала 60 дней, а в варианте Б – 50 дней. Видно также, что со II по IV этап темпы развития были более быстрыми в варианте Б, и длительность этого периода была на 3–4 дня меньше. Вполне понятно, что при более высокой температуре воздуха скорость физиологических процессов была большей.

Такая же ситуация имело место и в период завершения гаметогенеза (к VIII этапу), цветения и оплодотворения (IX – X этапы): скорость развития при высокой температуре воздуха в опыте была на 8–9 дней большей.

Между тем с начала V и до VIII этапов картина темпов развития была диаметрально другой: при высокой температуре воздуха скорость развития была на 2–4 дня меньшей.

В данный период классическая закономерность достаточно прямой зависимости интенсивности физиологических процессов (в основе своей биохимических) от температуры (если таковая не является экстремальной, ингибирующей эти же процессы) явно не выполнялась.

Однако сугубо экспериментальные, причем не ординарные результаты нуждались в объяснении.

Такое объяснение, о теоретической возможности которого сказано несколько ранее, и было сделано, и его можно подтвердить фактами.

Действительно, как показано в табл. 5, при более быстром развитии растений на II – IV этапах при высокой температуре воздуха было меньше образовано на IV этапе зачаточных цветков (125 вместо 156).

**Таблица 5.** Количественные параметры формирования генеративных органов у яровой пшеницы, выращиваемой при разных режимах температуры воздуха

**Table 5.** Quantitative parameters for generative organ development of the spring wheat growing under different temperature conditions

Количество цветков	Вариант выращивания пшеницы, температура (день/ночь), °С		
	А 20 / 14	Б 25 / 21	Б / А, %
На IV этапе заложилось, шт.	156	125	80
На V этапе осталось, шт.	110	95	86
На V этапе осталось, %	71	76	108
«Потери» цветков на V этапе, %	29	24	80
После VII этапа осталось, шт.	40	35	87
Осталось от количества на IV этапе, %	26	28	109
«Потери» на VII этапе от оставшихся на V этапе, %	36	37	102
Коэффициент «озерненности», NX / NIV, %	26	28	108
Количество зерновок на XII этапе, шт.	36	26	72
Коэффициент «озерненности», NXII / NIV, %	23	21	91
Коэффициент «озерненности», NXII / NV, %	32	27	84

*Примечание.* I–XII – этапы органогенеза; N – количество цветков и зерновок.

Однако до этого у растений в обоих случаях при одной и той же интенсивности ФАР было детерминированно в 1-й КРП одинаковое строение будущих механических тканей, которым должны были отвечать и будущие структуры (массы) колосьев.

Заложилось же на IV этапе в варианте Б меньше цветков и растения использовали возможности саморегуляции для исправления сложившейся ситуации путем снижения «потерь» цветков за счет снижения темпов развития.

Так, уже на V этапе «потери» в варианте Б составили 24 %, тогда как в варианте А – 29,5 %.

На VII этапе величина «потерь» выравнилась – в обоих случаях она составила 36–37 %, и в итоге к цветению и оплодотворению доля полноценных цветков достигла оптимальных значений – 26–28 %.

Иначе говоря, растения предварительно, до созревания зерновок, оптимизировали ход развития, и коэффициент озерненности стал одинаковым, пропорциональным зачаточным структурам стебля.

Вполне естественно, что при более быстром развитии на X этапе было образованно меньше зародышей (35 вместо 40) и еще меньше было сформированно зрелых зерновок к концу XII этапа (26 вместо 36).

С позиции урожайности растения, росшие при несколько пониженной температуре воздуха и, в целом, менее быстро, были более продуктивными, чем растения, росшие при 25 °С.

С позиции оценки оптимальности физиологических процессов, растения обоих вариантов были одинаковыми, о чем можно судить по коэффициентам озерненности на X этапе (26–28 %) и на XII этапе (21–23 %).

Для подтверждения результатов, приведенных на рис. 1, представим еще данные, полученные при анализе реакции скорости развития растений на различную интенсивность ФАР, даваемую в разные этапы органогенеза.

Как и в предыдущих опытах, растения выращивали в камерах с использованием излучения от зеркальных ламп накаливания, находящихся над водным экраном, поглощающим радиацию более 1100 нм.

Интенсивность ФАР составляла 50 и 150 Вт/м<sup>2</sup>; длина фотопериода равнялась 16 ч.

Изменения светового режима для растений производили после окончания соответствующего этапа органогенеза.

Схема опытов представлена на рис. 2, в котором показаны различия между вариантами (А – Г).

	II-III	IV	VI
А	150 <u>10</u>	150 <u>10</u>	150 <u>10</u>
Б	50 <u>15</u>	50 <u>15</u>	50 <u>15</u>
В	50 <u>15</u>	150 <u>10</u>	150 <u>10</u>
Г	150 <u>10</u>	50 <u>15</u>	50 <u>15</u>

**Рис. 2.** Схема темпов прохождения этапов органогенеза (II-VI) в зависимости от интенсивности ФАР (50 и 150 Вт/м<sup>2</sup>). Подчеркнутые цифры – приблизительная (условная) длительность этапов (дней).

**Fig. 2.** The rates of organogenesis stage changes (II-VI) depending on PAR intensity (50 and 150 W/m<sup>2</sup>). Underlined numbers – approximate duration of the stages (days).

Вариант А: радиационный режим этого варианта оптимален – заложилось и осталось много цветков. Скорость развития максимальна.

Вариант Б: в этом варианте опыта радиационный режим наихудший – интенсивность ФАР является минимальной в пределах физиологически нормального диапазона условий (50–160 Вт/м<sup>2</sup>), в котором КПД поглощенной ФАР еще сохраняется высоким при низкой продуктивности растений посева.

Развитие замедленно, но в растениях еще сохраняется стехиометрия физиологических процессов, о чем свидетельствует такая же величина коэффициент озерненности (33 %), как и у растений варианта А.

Вариант В: на IV этапе образовалось много цветков за счет высокой интенсивности приходящей ФАР. Однако их слишком много по отношению к тонкому стеблю, формируемому при низкой интенсивности ФАР на II этапе. Поэтому растениям необходимо в целях синхронизации процессов и структур уменьшить количество цветков на V–VI этапах.

Для этого растения удлиняют период прохождения V–VI этапов, когда усиливается проявление структурно-функциональной гетерогенности цветков и легче отбирать лучшие.

Именно об этом свидетельствует коэффициент диссипации цветков, равный 45 %.

В данном случае стратегия регуляции процессов развития заключается в направлении подстройки величины количества цветков к структурным возможностям будущего стебля.

Вариант Г: в этом варианте существует возможность детерминации на II этапе мощного стебля при высокой интенсивности ФАР (150 Вт/м<sup>2</sup>), которому отвечало бы образование на IV этапе такого же количества цветков, как и в варианте А, если бы в этот период интенсивность ФАР была высокой.

Но она низка, и поэтому закладывается не 180, а всего лишь 100 цветков. Между тем будущий стебель мог бы иметь значительно больше цветков, и поэтому растения увеличивают период их образования (т. е. длительность IV этапа), в большей мере синхронизируют их структурно-функциональные свойства и снижают затем долю «потерь» до 30 %, невзирая на низкую интенсивность ФАР и замедленный рост.

В данном случае стратегия регуляции процессов заключается также в направлении подстройки величины количества цветков к возможностям стебля. В этом варианте, как и в варианте В, доминирует эндогенная регуляция скорости развития.

В этих опытах, проведенных в фитотроне ИФР АН СССР в 70-е годы прошедшего столетия, не ставилась задача нахождения оптимальных темпов прохождения отдельных периодов органогенеза, столь необходимых в настоящее время в современных агрометеорологических работах при оценке состояния посевов.

Задача заключалась в изучении информационно-регуляторной деятельности растений, направленной на поддержание их функциональной целостности, на физиологические способы поддержания высокой эффективности их работы в разных условиях роста.

Результаты данных опытов с изменяемой интенсивностью ФАР в пределах онтогенеза показали, что при разной продуктивности растений эффективность использования поглощенной ФАР сохранялась достаточно высокой, достигая в варианте А 10,4 %, а в варианте Б – 9,6 %.

Несмотря на «возраст» проведенных опытов и полученных результатов, эти экспериментально-теоретические исследования по-прежнему являются актуальными, так как показывают значения двух казалось бы разных подходов к пониманию изменчивости растений, их продуктивности и урожайности.

Один подход акцентирует внимание на оценке особенностей и количественных значений тех или иных, экзогенных параметров радиационного и гидротермического режимов, характеризующих текущее состояние посевов и его отличие от среднесезонных (климатических) величин.

Другой подход акцентирует внимание на анализе эндогенной биологической (физиологической) регуляции свойств растений, характеризующей их способность на основе самооптимизации и саморегуляции структуры и функций сохраняться в изменчивых агроклиматических условиях.

Из приведенных материалов следует несколько выводов.

Во-первых, скорость развития растений в целом и на отдельных его этапах обусловлена действием как экзогенных метеорологических факторов, так и эндогенными процессами самооптимизации, их направленности на поддержание сопряженности функции целостного организма, способного работать с максимальной эффективностью использования лучистой энергии.

Во-вторых, для анализа причин изменения темпов развития растения желательно акцентировать внимание исследователей (в том числе и агрометеорологов) на более детальном анализе количественных и качественных изменений структур и органов, происходящих в биологически строго определенных периодах в пределах онтогенеза.

Оценка состояния посевов, производимая на основе наблюдений за прохождением фаз, не только не противоречит будущему экспериментальному количественному анализу формирования структур на разных этапах органогенеза, но является и будет по-прежнему являться одним из важнейших агрометеорологических критериев конечной урожайности сельскохозяйственных культур.

В-третьих, для более детальной оценки изменения темпов развития в зависимости от условий среды, влияющих на количество образуемых метамерных органов побега, необходимо иметь в своем распоряжении информацию не только о гидротермическом режиме почвы и воздуха, но и о приходе солнечной радиации, играющей важную (при этом неоднозначную) регуляторную роль в процессах морфогенеза.

В-четвертых, учитывая, что темпы развития растений по ряду причин, и в том числе климатических, изменялись в течение XX – XXI веков, необходимо проведение в ближайшем будущем фундаментальных исследований о темпах развития различных сельскохозяйственных культур

в современный период (1991–2019 гг.), что позволит улучшить возможности оценки текущего состояния посевов и еще более точного и более заблаговременного прогноза их будущей урожайности в изменяющемся климате XXI века.

В-пятых, практическая реализация соображений, высказанных в работе и в выводах, связана с желательным усилением научно-исследовательской деятельности при совместной работе ученых-климатологов, физиологов растений, генетиков и селекционеров.

Перспективность этих исследований обусловлена также тем, что в изменяющихся погодно-климатических условиях, особенно регионального масштаба, увеличивается частота и интенсивность опасных явлений, негативное влияние которых может быть особенно ощутимо при их возникновении и действии в критические периоды развития растений.

Изучение и учет такого действия – одна из задач будущих физиолого-метеорологических исследований, особенно необходимых агрометеорологам и селекционерам.

#### Список литературы

1. *Абакумова Г.М., Горбаренко Е.В., Незваль Е.И., Шиловцева О.А.* Климатические ресурсы солнечной энергии Московского региона. М.: Либроком, 2012. 312 с.
2. *Абашина Е.В., Вильфанд Р.М., Киктев Д.Б., Семенов В.А. Сиротенко О.Д., Страшная А.И., Якушев В.В. и др.* Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве России. М.: РАСХН, 2009. 518 с.
3. *Алехина Н.Д. и др.* Физиология растений. М.: Академия, 2005. 633 с.
4. *Ананьева Л.В., Мурашев В.В.* Влияние агрометеорологических условий на продолжительность III–IV и V этапов органогенеза и формирование элементов продуктивности колоса озимой пшеницы // Биол. Науки. 1986. № 4. С. 82-84.
5. *Бауэр Э.С.* Теоретическая биология. М.-Л.: ВИЭМ, 1935. 204 с.
6. *Беккер Х.* Селекция растений. М.: Изд.-во КМК, 2015. 425 с.
7. *Булыгин Н.Е.* Фенологические наблюдения. Организация, проведение, обработка. Л.: Наука, 1982. 223 с.
8. *Васильев А.А., Вильфанд Р.М.* Технологии прогнозирования метеорологических условий на основе реализаций глобальных и региональных моделей атмосферы // Методологические аспекты развития метеорологии специального назначения, экологии и системы аэрокосмического мониторинга: материалы II Всероссийской НПК, Воронеж: ВУНЦ ВВС, 2015. С. 19-24.
9. *Вильфанд Р.М.* Развитие технологий метеорологического прогнозирования в Российской Федерации // Труды VI Всероссийского метеорологического съезда, Санкт-Петербург, 14-26 октября 2009 г. Обнинск, ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД, 2011. С. 65-75.
10. *Вильфанд Р.М., Страшная А.И.* Климат, прогнозы погоды и агрометеорологическое обеспечение сельского хозяйства в условиях изменения климата // Адаптация сельского хозяйства России к меняющимся погодно-климатическим условиям. М.: РГАУ-МСХА, 2011. С. 23-28.
11. *Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Береза О.В.* О динамике агроклиматических показателей условий сева, зимовки и формирования урожая основных зерновых культур // Труды Гидрометцентра России. 2016. Вып. 360. С. 45-78.
12. *Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме.* М.: Росгидромет, 2014. 60 с.
13. *Гордеев А.В., Клеценко А.Д., Черняков Б.А., Сиротенко О.Д.* Биоклиматический потенциал России: теория и практика. М.: Тов. научн. изд. КМК, 2006. 512 с.
14. *Дегтярева Г.В.* Погода, урожай и качество зерна яровой пшеницы. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 216 с.
15. *Дорофеев В.Ф. и др.* Пшеницы мира: видовой состав, достижения селекции, современные проблемы и исходный материал. Л.: Агропромиздат, 1987. 560 с.

16. Ефименко Д.Я., Барабаш Г.И. Гречиха. М.: Агропромиздат, 1990. 192 с.
17. Замайлинов А.А. и др. Яровой ячмень (семеноводство, агротехника, экономика). Казань: Бриг, 2015. 288 с.
18. Кислов А.В. Климат в прошлом, в настоящем и в будущем. М.: МАИК Наука/Интерпериодика, 2001. 351 с.
19. Кислов А.В. Климатология с основами метеорологии. М.: Академия, 2016. 224 с.
20. Коновалов Ю.Б., Пыльнев В.В., Хуцацария Т.И., Рубец В.С. Общая селекция растений: учебник. СПб.: Лань, 2013. 480 с.
21. Кошкин Е.И. Физиологические основы селекции растений. М.: Аргамак-Медиа, 2014. 400 с.
22. Кошкин Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур. М.: Дрофа, 2010. 638 с.
23. Кротов А.С. Гречиха. М.-Л.; Изд-во с.-х. лит., журн. и плакатов, 1963. 255 с.
24. Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А. Физиология растений. М.: Высшая школа, 2006. 742 с.
25. Куперман Ф.М. Морфофизиология растений. Морфофизиологический анализ этапов органогенеза различных жизненных форм покрытосеменных растений. М.: Высшая школа, 1968. 223 с.
26. Куперман Ф.М. Биологический контроль в сельском хозяйстве. М.: Из-во МГУ, 1972. 275 с.
27. Куперман Ф.М. Современные проблемы морфофизиологии растений. Основные закономерности органогенеза покрытосеменных растений. М.: МГУ, 1976.
28. Куперман Ф.М., Моисейчик В.А. Вызревание озимых культур. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 168 с.
29. Куперман Ф.М., Ржанова Е.И., Ростовцева З.П. Этапы формирования органов плодonoшения злаков. М.: Из-во МГУ, 1955. 248 с.
30. Куперман Ф.М., Уланова Е.С., Ананьева Л.В. Оценка влияния агроклиматических условий на продолжительность этапов органогенеза, формирование элементов продуктивности и урожайность озимой пшеницы: Методическое пособие. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 42 с.
31. Куперман Ф.М., Чирков Ю.И. Биологический контроль за развитием растений на метеорологических станциях. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 146 с.
32. Лаханов А.П., Коломейченко В.В., Фесенко Н.В. и др. Морфофизиология и продукционный процесс гречихи. Орел: Орел ГАУ, 2004. 435 с.
33. Мурашев В.В., Орлова И.Г. Морфофизиологический анализ как экспресс-метод оценки селекционного материала // Вестник МГУ. Серия 16. Биология. 2004. № 2. С. 38-45.
34. Мурей И.А., Шульгин И.А. Эффективность использования ФАР на истинный фотосинтез и образование биомассы растений // Ботан. журн. 1978. Том. 63. Вып. 12. С. 1731-1743.
35. Ничипорович А.А. Теория фотосинтетической продуктивности растений и рациональное направление в селекции на повышение продуктивности // Физиолого-генетические основы повышения продуктивности зерновых культур. М.: Колос, 1976. С. 5-14.
36. Ничипорович А.А., Шульгин И.А. Фотосинтез и использование энергии солнечной радиации // Ресурсы биосферы. Л.: АН СССР, 1976. Вып. 2. С. 6-65.
37. Процеров А.В. Краткое руководство к составлению декадных агрометеорологических бюллетеней. Л.: Гидрометеиздат, 1954. 64 с.
38. Ремесло В.Н., Куперман Ф.М., Животков Л.А., Мурашев В.В. Селекция и сортовая агротехника пшеницы интенсивного типа. М.: Колос, 1982. 303 с.
39. Русакова Т.Т., Лебедева В.М., Грингоф И.Г. Исследование климатообусловленных колебаний урожайности основных зерновых культур, их количественная оценка в новых социально-экономических условиях Российской Федерации // Метеорология и гидрология. 2010. № 12. С. 88-97.
40. РД 52.33.217-99. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 11. Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Часть I. Основные агрометеорологические наблюдения.
41. Савельев В. Гречиха: учебное пособие. М.: Лань, 2017. 240 с.
42. Стратегический прогноз изменений климата Российской Федерации на период до 2010-2015 гг. и их влияния на отрасли экономики России. М.: Росгидромет, 2005. 30 с.
43. Страшина А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В. Об изменении агроклиматических условий вегетации и сроков сева озимых культур осенью в Центральном федеральном округе в связи с потеплением климата // Труды Гидрометцентра России. 2009. Вып. 343. С. 127-142.



44. Суркова Г.В. Климатические ресурсы и их прогнозируемые изменения в XXI веке в России: автореф. дисс. ... докт. геогр. наук. М.: Из-во МГУ, 2017. 43 с.
45. Тарасова Л.Л., Шульгин И.А. К вопросу об агроклиматической оценке продуктивности яровых зерновых культур // Метеорология и гидрология. 2012. № 10. С. 94-101.
46. Тимирязев К.А. Солнце, жизнь и хлорофилл. Том I. М.: Отгиз-Сельхозгиз, 1948. С. 82-370.
47. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая. Л.: Гидрометеониздат, 1977. 200 с.
48. Федотов В.А., Корольков П.Т., Кадыров С.В. Гречиха в России. Воронеж: Исток, 2009. 316 с.
49. Фесенко А.Н. Продуктивные свойства морфобиотипов гречихи с различной архитектурой вегетативной зоны // Доклады Росс. акад. с.-х. наук. 2004. № 3. С. 6-10.
50. Фесенко А.Н. Новые методы селекции гречихи: автореф. дисс. ... докт. биол. наук. СПб.: ВИР, 2009. 44 с.
51. Фесенко А.Н., Фесенко Н.В., Мартыненко Г.Е., Шипулин О.А. Морфогенетический метод селекции гречихи (методические рекомендации). М.: Колос, 2008. 24 с.
52. Фесенко М.А. Архитектоника листовой системы растений и ее использование в селекции гречихи: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. СПб.: ВИР, 1997. 16 с.
53. Фесенко Н.В. Селекция и семеноводство гречихи. М.: Колос, 1983. 191 с.
54. Фесенко Н.В., Фесенко А.Н. О роли морфогенетических процессов в адаптации гречихи // Аграрная Россия. 2002. № 1. С. 64-67.
55. Чирков Ю.И. Агрометеорологические условия и продуктивность кукурузы. Л.: Гидрометеониздат, 1969. 252 с.
56. Шипулин О.А. Влияние архитектуры растения на продукционные свойства гречихи и использование этого признака в селекции: дисс. ... канд. с.-х. наук. Орел: Гос. ВНИИ зернобобовых и крупяных культур, 2007. 84 с.
57. Шипулин О.А., Фесенко А.Н. Использование архитектуры растения в селекции гречихи // Влияние архитектуры растения на продукционные свойства гречихи и использование этого признака в селекции. М.: LAP, 2011. 104 с.
58. Шульгин И.А. Лучистая энергия и энергетический баланс растений. – М.: Альтекс, 2004. 142 с.
59. Шульгин И.А. Солнечные лучи в зеленом растении. М.: Альтекс, 2009. 186 с.
60. Шульгин И.А., Тарасова Л.Л. Агрометеорологические аспекты энергетического баланса растений и агрофитоценозов // Агрометеорология XXI века. М.: РГАУ-МСХА, 2009. С. 32-43.
61. Шульгин И.А., Тарасова Л.Л. К вопросу об агроклиматической оценке урожайности зерновых культур в условиях изменения климата // Материалы всероссийской научной конференции «Методы оценки сельскохозяйственных рисков и технологии смягчения последствий изменения климата в земледелии». СПб.: АФИ, 2011. С. 78-81.
62. Шульгин И.А., Тарасова Л.Л., Сенников В.А. Агрометеорологические аспекты оценки урожаев в условиях климатических изменений // Адаптация сельского хозяйства России к меняющимся погодно-климатическим условиям. М., РГАУ-МСХА, 2011. С. 90-99.
63. Шульгин И.А., Щербина И.П. Адаптивность продуктивности пшеницы // Биол. Науки. 1981. № 10. С. 5-22.
64. Шульгин И.А., Страшная А.И., Береза О.В. Возможность учета солнечной радиации в агрометеорологической оценке урожайности яровых культур // Труды Гидрометцентра России. 2015. Вып. 357. С. 72-97.
65. Шульгин И.А., Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Береза О.В. Энергобалансовая оценка урожайности яровых культур // Известия Тимирязевской с.-х. академии. 2015. № 5. С. 61-80.
66. Шульгин И.А., Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Береза О.В. Солнечная радиация в оценках максимальной урожайности яровых культур // Биосфера. 2015. Том 7, № 4. С. 371-383.
67. Шульгин И.А., Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Береза О.В. Солнечная радиация в сумерки как физиологически активный фактор регуляции скорости развития яровых зерновых культур // Известия Тимирязевской с.-х. академии, 2017. № 1. С. 56-74.
68. Шульгин И.А., Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Береза О.В., Павлова К.И. Информационно-регуляторная роль солнечной радиации в периоды сумерек в развитии и продуктивности яровых зерновых культур // Труды Гидрометцентра России. 2016. Вып. 362. С. 193-213.
69. Якименко А.Ф. Гречиха. М.: Колос, 1982. 196 с.

## References

1. *Abakumova G.M., Gorbarenko E.V., Nezval' E.I., Shilovtseva O.A.* Klimaticheskie resursy solnechnoi energii Moskovskogo regiona. Moscow, Librokom publ., 2012, 312 p. [in Russ].
2. *Abashina E.V., Vil'fand R.M., Kikteva D.B., Semenov V.A. Sirotenko O.D., Strashnaya A.I., Yakushev V.V.* i dr. Global'nye izmeneniya klimata i prognoz riskov v sel'skom hozyaistve Rossii. Moscow, RASKHN, 2009, 518 p. [in Russ].
3. *Alekhina N.D. i dr.* Fiziologiya rastenii. Moscow, Akademiya publ., 2005, 633 p. [in Russ].
4. *Anan'eva L.V., Murashev V.V.* Vliyaniye agrometeorologicheskikh uslovii na prodolzhitel'nost' III–IV i V etapov organogeneza i formirovaniye elementov produktivnosti kolosa ozimoi pshenitsy. *Biologicheskie nauki*, 1986, no. 4, pp. 82–84 [in Russ].
5. *Bauer E.S.* Teoreticheskaya biologiya. Moscow–Leningrad, VIEM, 1935, 204 p. [in Russ].
6. *Bekker H.* Seleksiya rastenii. Moscow, KMK publ., 2015, 425 p. [in Russ].
7. *Bulygin N.E.* Fenologicheskie nablyudeniya. Organizatsiya, provedeniye, obrabotka. Leningrad, Nauka publ., 1982, 223 p. [in Russ].
8. *Vasil'ev A.A., Vil'fand R.M.* Tekhnologii prognozirovaniya meteorologicheskikh uslovii na osnove realizatsii global'nykh i regional'nykh modelei atmosfery. Metodologicheskie aspekty razvitiya meteorologii spetsial'nogo naznacheniya, ekologii i sistemy aerokosmicheskogo monitoringa: materialy II Vserossiiskoi NPK, Voronezh, VUNTS VVS, 2015, pp. 19–24 [in Russ].
9. *Vil'fand R.M.* Razvitiye tekhnologii meteorologicheskogo prognozirovaniya v Rossiiskoi Federatsii. Trudy VI Vserossiiskogo meteorologicheskogo s'ezda, Sankt-Peterburg, 14–26 oktyabrya 2009 g. Obninsk, FGBU VNIIGMI-MTSD, 2011, pp. 65–75 [in Russ].
10. *Vil'fand R.M., Strashnaya A.I.* Klimat, prognozy pogody i agrometeorologicheskoe obespecheniye sel'skogo hozyaistva v usloviyakh izmeneniya klimata. Adaptatsiya sel'skogo hozyaistva Rossii k menyayushchimsya pogodno-klimaticheskim usloviyam. Moscow, RGAU-MSKHA, 2011, pp. 23–28 [in Russ].
11. *Vil'fand R.M., Strashnaya A.I., Bereza O.V.* About the dynamics of the agroclimatic indicators of conditions of sowing, wintering and formation of the yield of the main grain crops. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2016, vol. 360, pp. 45–78 [in Russ].
12. Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ih posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii. Obschee rezhyume. Moscow, Rosgidromet, 2014, 60 p. [in Russ].
13. *Gordeev A.V., Kleschenko A.D., CHernyakov B.A., Sirotenko O.D.* Bioklimaticheskii potentsial Rossii: teoriya i praktika. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2006, 512 p. [in Russ].
14. *Degtyareva G.V.* Pogoda, urozhai i kachestvo zerna yarovoi pshenitsy. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1981, 216 p. [in Russ].
15. *Dorofeev V.F. et al.* Pshenitsy mira: vidovoi sostav, dostizheniya selektsii, sovremennyye problemy i iskhodnyi material. Leningrad, Agropromizdat publ., 1987, 560 p. [in Russ].
16. *Efimchenko D.Ya., Barabash G.I.* Grechiha. Moscow, Agropromizdat publ., 1990, 192 p. [in Russ].
17. *Zamailinov A.A. et al.* Yarovoi yachmen' (semenovodstvo, agrotekhnika, ekonomika). Kazan', Brig, 2015, 288 p. [in Russ].
18. *Kislov A.V.* Klimat v proshlom, v nastoyaschem i v buduschem. Moscow, MAIK Nauka/Interperiodika, 2001, 351 p. [in Russ].
19. *Kislov A.V.* Klimatologiya s osnovami meteorologii. Moscow, Akademiya publ., 2016, 224 p. [in Russ].
20. *Kononov YU.B., Pyl'nev V.V., Hupatsariya T.I., Rubets V.S.* Obschaya seleksiya rastenii: uchebnik. Saint Petersburg, Lan' publ, 2013, 480 p. [in Russ].
21. *Koshkin E.I.* Fiziologicheskie osnovy selektsii rastenii. Moscow, Argamak-Media publ., 2014, 400 p. [in Russ].
22. *Koshkin E.I.* Fiziologiya ustoichivosti sel'skohozyaistvennykh kul'tur. Moscow, Drofa publ., 2010, 638 p. [in Russ].
23. *Krotov A.S.* Grechiha. Moscow–Leningrad, Izd-vo s.-h. lit., zhurn. i plakatov, 1963, 255 p. [in Russ].
24. *Kuznetsov V.V., Dmitrieva G.A.* Fiziologiya rastenii. Moscow, Vysshaya shkola, 2006, 742 p. [in Russ].
25. *Kuperman F.M.* Morfofiziologiya rastenii. Morfofiziologicheskii analiz etapov organogeneza razlichnykh zhiznennykh form pokrytozemennykh rastenii. Moscow, Vysshaya shkola, 1968, 223 p. [in Russ].

26. Kuperman F.M. Biologicheskii kontrol' v sel'skom hozyaistve. Moscow, MSU publ., 1972, 275 p. [in Russ.].
27. Kuperman F.M. Sovremennye problemy morfofiziologii rastenii. Osnovnye zakonomernosti organogeneza pokrytozemnykh rastenii. Moscow, MSU publ., 1976. [in Russ.].
28. Kuperman F.M., Moiseichik V.A. Vyprevanie ozimyykh kul'tur. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1977, 168 p. [in Russ.].
29. Kuperman F.M., Rzhanova E.I., Rostovtseva Z.P. Etapy formirovaniya organov plodonosheniya zlakov. Moscow, MSU publ., 1955, 248 p. [in Russ.].
30. Kuperman F.M., Ulanova E.S., Anan'eva L.V. Otsenka vliyaniya agroklimaticheskikh usloviy na prodolzhitel'nost' etapov organogeneza, formirovanie elementov produktivnosti i urozhainost' ozimoi pshenitsy: Metodicheskoe posobie. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1985, 42 p. [in Russ.].
31. Kuperman F.M., Chirkov Yu.I. Biologicheskii kontrol' za razvitiem rastenii na meteorologicheskikh stantsiyah. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1970, 146 p. [in Russ.].
32. Lahanov A.P., Kolomeichenko V.V., Fesenko N.V., et al. Morfofiziologiya i produktsionnyy protsess grechihy. Orel, Orel GAU, 2004, 435 p. [in Russ.].
33. Murashev V.V., Orlova I.G. Morfofiziologicheskii analiz kak ekspress-metod otsenki selektsionnogo materiala. *Vestnik MGU. Seriya 16. Biologiya* [Moscow University Biological Sciences Bulletin], 2004, no. 2, pp. 38-45 [in Russ.].
34. Murei I.A., Shul'gin I.A. Effektivnost' ispol'zovaniya FAR na istinnyy fotosintez i obrazovanie biomassy rastenii. *Botanicheskii Zhurnal*, 1978, vol. 63, no. 12, pp. 1731-1743. [in Russ.].
35. Nichiporovich A.A. Teoriya fotosinteticheskoi produktivnosti rastenii i ratsional'noe napravlenie v selektsii na povyshenie produktivnosti. Fiziologo-geneticheskie osnovy povysheniya produktivnosti zernovykh kul'tur. Moscow, Kolos, 1976, pp. 5-14 [in Russ.].
36. Nichiporovich A.A., Shul'gin I.A. Fotosintez i ispol'zovanie energii solnechnoi radiatsii. Resursy biosfery. Leningrad, AN SSSR publ., 1976, no. 2, pp. 6-65 [in Russ.].
37. Protserov A.V. Kratkoe rukovodstvo k sostavleniyu dekadnykh agrometeorologicheskikh byulletenei. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1954, 64 p. [in Russ.].
38. Remeslo V.N., Kuperman F.M., Zhivotkov L.A., Murashev V.V. Seleksiya i sortovaya agrotekhnikha pshenitsy intensivnogo tipa. Moscow, Kolos publ., 1982, 303 p. [in Russ.].
39. Rusakova T. I., Lebedeva V. M., Gringof I. G. Studying climate-related yield fluctuations of basic grain crops and their qualitative assessment under new socioeconomic conditions of the Russian Federation. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2010, vol. 35, no. 12, pp. 851-857. DOI: 10.3103/S1068373910120095.
40. RD 52.33.217-99. Nastavlenie gidrometeorologicheskimi stantsiyam i postam. Vypusk 11. Agrometeorologichesknie nablyudeniya na stantsiyah i postah. Chast' I. Osnovnye agrometeorologichesknie nablyudeniya.
41. Savel'ev V. Grechihy: uchebnoe posobie. Moscow, Lan' publ., 2017, 240 p. [in Russ.].
42. Strategicheskii prognoz izmenenii klimata Rossiiskoi Federatsii na period do 2010-2015 gg. i ih vliyaniya na otrasli ekonomiki Rossii. Moscow, Rosgidromet, 2005, 30 p. [in Russ.].
43. Strashnaya A.I., Maksimenkova T.A., Chub O.V. Ob izmenenii agroklimaticheskikh usloviy vegetatsii i srokov seva ozimyykh kul'tur osen'yu v Tsentral'nom federal'nom okruge v svyazi s potepleniem klimata. *Trudy Gidromettsentra Rossii* [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia], 2009, vol. 343, pp. 127-142 [in Russ.].
44. Surkova G.V. Klimaticheskie resursy i ih prognoziруемые izmeneniya v XXI veke v Rossii: avtoref. diss. ... dokt. geogr. nauk. Moscow, MSU publ., 2017, 43 p. [in Russ.].
45. Tarasova L. L., Shul'gin I. A. K voprosu ob agroklimaticheskoi otsenke produktivnosti yarovyykh zernovykh kul'tur [On the Problem of Agroclimatic Estimation of Spring Grain Crops Productivity]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Russ. Meteorol. Hydrol.], 2012, no. 10, pp. 94-101 [in Russ.].
46. Timiryazev K.A. Solntse, zhizn' i hlorofill. Tom I. Moscow, Ogiz-Sel'hozgiz publ., 1948, pp. 82-370 [in Russ.].
47. Tooming H.G. Solnechnaya radiatsiya i formirovanie urozhaya. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1977, 200 p. [in Russ.].
48. Fedotov V.A., Korol'kov P.T., Kadyrov S.V. Grechihy v Rossii. Voronezh, Istok publ., 2009, 316 p. [in Russ.].
49. Fesenko A.N. Produktivnyye svoystva morfobiotipov grechihy s razlichnoi arhitektonikoi vegetativnoi zony [Productive characteristics of buckwheat morphobiotypes with various architectonics of branch vegetative zone]. *Doklady Ross. akad. s.-h. Nauk*, 2004, no. 3, pp. 6-10 [in Russ.].
50. Fesenko A.N. Novye metody selektsii grechihy: avtoref. diss. dokt. biol. nauk. SPb, VIR, 2009, 44 p. [in Russ.].

51. Fesenko A.N., Fesenko N.V., Martynenko G.E., Shipulin O.A. Morfogeneticheskie metod selektsii grechihii (metodicheskie rekomendatsii). Moscow, Kolos publ., 2008, 24 p. [in Russ.].
52. Fesenko M.A. Arhitektonika listvoi sistemy rastenii i ee ispol'zovanie v selektsii grechihii: avtoref. diss. ... kand. s.-h. nauk. Saint Petersburg, VIR, 1997, 16 p. [in Russ.].
53. Fesenko N.V. Seleksiya i semenovodstvo grechihii. Moscow, Kolos, 1983, 191 p. [in Russ.].
54. Fesenko N.V., Fesenko A.N. On the role of morphogenetic processes in buckwheat adaptation. *Agrarnaya Rossiya [Agrarian Russia]*, 2002, no. 1, pp. 64-67 [in Russ.].
55. Chirkov Y.I. Agrometeorologicheskie usloviya i produktivnost' kukuruzy. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1969, 252 p. [in Russ.].
56. Shipulin O.A. Vliyanie arhitektoniki rasteniya na produktsionnye svoystva grechihii i ispol'zovanie etogo priznaka v selektsii: diss. ... kand. s.-h. nauk. Orel, Gos. VNII zernobobovykh i krupyanykh kul'tur, 2007, 84 p. [in Russ.].
57. Shipulin O.A., Fesenko A.N. Ispol'zovanie arhitektoniki rasteniya v selektsii grechihii // Vliyanie arhitektoniki rasteniya na produktsionnye svoystva grechihii i ispol'zovanie etogo priznaka v selektsii. Moscow, LAP, 2011, 104 p. [in Russ.].
58. Shul'gin I.A. Luchistaya energiya i energeticheskii balans rastenii. Moscow, Al'teks publ., 2004, 142 p. [in Russ.].
59. Shul'gin I.A. Solnechnye luchy v zelenom rastenii. Moscow, Al'teks publ., 2009, 186 p. [in Russ.].
60. Shul'gin I.A., Tarasova L.L. Agrometeorologicheskie aspekty energeticheskogo balansa rastenii i agrofittotsenozov. *Agrometeorologiya XXI veka*. Moscow, RGAU-MSKHA, 2009, pp. 32-43 [in Russ.].
61. Shul'gin I.A., Tarasova L.L. K voprosu ob agroklimaticheskoi otsenke urozhainosti zernovykh kul'tur v usloviyakh izmeneniya klimata. Materialy vsrossiiskoi nauchnoi konferentsii «Metody otsenki sel'skohozyaistvennykh riskov i tekhnologii smyagcheniya posledstviy izmeneniya klimata v zemledelii». Saint Petersburg, AFI, 2011, pp. 78-81 [in Russ.].
62. Shul'gin I.A., Tarasova L.L., Sennikov V.A. Agrometeorologicheskie aspekty otsenki urozhayev v usloviyakh klimaticheskikh izmenenii. Adaptatsiya sel'skogo hozyaistva Rossii k menyayushchimsya pogodno-klimaticheskim usloviyam. Moscow, RGAU-MSKHA, 2011, pp. 90-99 [in Russ.].
63. Shul'gin I.A., Scherbina I.P. Adaptivnost' produktivnosti pshenitsy. *Biologicheskie nauki*, 1981, no. 10, pp. 5-22 [in Russ.].
64. Shul'gin I.A., Strashnaya A.I., Bereza O.V. The possibility to take into account solar radiation in agrometeorological assessment of the yield of spring crops. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2015, vol. 357, pp. 72-97 [in Russ.].
65. Shul'gin I. A., Vil'fand R. M., Strashnafya A. I., Bereza O. V. Energy-balance approach to evaluation of spring crops yield. *Izvestiya TSHA [Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy]*, 2015, no. 5, pp. 61-80 [in Russ.].
66. Shul'gin I.A., Vil'fand R.M., Strashnaya A.I., Bereza O.V. Solar radiation in estimating the maximal yields of spring crops. *Biosfera*, 2015, vol. 7, no. 4, pp. 371-383 [in Russ.].
67. Shul'gin I.A., Vil'fand R.M., Strashnaya A.I., Bereza O.V. Twilight solar radiation as a physiological active factor of development intensity of spring grain crops. *Izvestiya TSHA [Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy]*, 2017, no. 1, pp. 56-74 [in Russ.].
68. Shul'gin I.A., Vil'fand R.M., Strashnaya A.I., Bereza O.V., Pavlova K.I. Information and regulatory role of solar radiation in the twilight in development and productivity of spring grain crops. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2016, vol. 362, pp. 193-213 [in Russ.].
69. Yakimenko A.F. Grechiha. Moscow, Kolos publ., 1982, 196 p. [in Russ.].

Поступила в редакцию 04.06.2019 г.

Received by the editor 04.06.2019.