

**СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ В СУМЕРКИ КАК ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЙ ФАКТОР РЕГУЛЯЦИИ СКОРОСТИ РАЗВИТИЯ ЯРОВЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР**И.А. ШУЛЬГИН<sup>1,2</sup>, Р.М. ВИЛЬФАНД<sup>1</sup>, О.В. БЕРЕЗА<sup>1</sup>, А.И. СТРАШНАЯ<sup>1</sup><sup>1</sup>Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации;<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова)

*На основе экспериментальных данных и теоретических представлений рассматривается физиологически-активная рассеянная солнечная радиация (ФиАР), поступающая к растениям в периоды гражданских сумерек и играющая физиологически активную роль в низкоэнергетических информационно-регуляторных процессах фотоморфогенеза и, в частности, в фотопериодической реакции перехода к образованию репродуктивных органов у яровых зерновых культур, в их продуктивности. Подчеркивается, что в физиологическое, агрометеорологическое понятие ежесуточной длины дня (фитодня, фотопериода) должны включаться как астрономическая длина дня, так и периоды гражданских сумерек, что определяет новое функциональное понятие – «физиологически активная длина дня» (ФАДД).*

*Обсуждается вопрос о причинах снижения скорости развития растений при уменьшении ФАДД из-за либо непосредственного ее укорочения из-за снижения чувствительности к слабой интенсивности ФиАР, либо за счет «эффекта скачка» (резкого изменения радиационного режима без быстрой адаптации к нему).*

*Отмечается, что новая информация о физиологической роли ранее не исследуемой радиации в сумерки в дальнейшем может использоваться агрометеорологами при разработке более сложных полифункциональных физико-математических моделей, долгосрочных прогнозах продукционного процесса яровых зерновых культур.*

**Ключевые слова:** солнечная радиация, сумерки (гражданские), зори, физиологически активная длина дня, развитие растений, яровые зерновые культуры.

Среди фундаментальных естественных дисциплин как научного, так и особенно научно-прикладного характера, интенсивно развивающихся в плане познания новых закономерностей функционирования растений в непрерывно изменяющихся в основной сфере их существования – атмосфере, – особое место занимают физиология растений и фитометеоклиматология (ФМК).

Их теоретическая, фундаментальная значимость обусловлена, с одной стороны, изучением удивительно многообразной морфофизиологической и функциональной адаптационной способностью растений существовать в чрезвычайно сложной

динамичной среде с сотнями ее абиотических параметров, влияющих на жизнедеятельность, с другой стороны, исследования в области ФМК интересны и важны в том отношении, что растения являются чутким и чаще всего четким индикатором не только прошлых условий среды (чем занимается, в частности, палеобиология, историческая физиология растений, палеогеография), но особенно действия факторов современных условий [4, 6, 27-29]. В последнем случае растения и их реакции помогут обратить внимание на слабые, порой почти незаметные по интенсивности факторы, на которые метеоклиматологи очень мало или совсем не обращали внимания.

С третьей стороны ФМК и ее более узкий раздел – агро,-фито,-метеоклиматология (АМК) – интересен и важен в связи с особой жизненно важной ролью культивирования растений для жизнедеятельности человека, обеспечения его продуктами питания. Кроме того, выявление качественных и количественных параметров действующих абиотических факторов на развитие растений важно для непрерывного совершенствования физико-математического моделирования средних и долгосрочных прогнозов – как самих условий среды обитания, так и применительно к конечной продуктивности посевов [3, 8].

В ФМК давно и достаточно полно разработана проблема гидротермического взаимодействия воздуха и почвы с растениями.

Как уже неоднократно отмечалось в своих публикациях, среди огромного числа важнейших абиотических факторов, понимание сложности которых еще далеко не изучено, меньше всего внимания уделялось и уделяется многогранной по воздействиям солнечной радиации (СР), хотя она единственный энергетический источник всех жизненных процессов, особенно фотосинтетической деятельности [1, 12, 28].

Солнечная радиация не только энергетический и физический фактор, определяющий радиационный и гидротермический глобальный и региональные режимы Земли, но и в силу ее колоссальной изменчивости основной регулятор и информационный фактор хода протекания разнообразных процессов и в мире растений [1, 29].

В последнее время (в середине XX в.), работы по изучению роли радиационного режима вполне заслужено привлекают все большее внимания физиологов и гидрометеорологов, физиков и математиков.

Достаточно давно и хорошо исследованы высокоэнергетические аспекты роли СР в процессах роста, газообмена, фотодыхания и фототранспирации, теплового и водного баланса тканей и органов растений. За вторую половину XX в. было выявлено также значительное количество фотофизиологических процессов, способных протекать как при высоких, так и при низких интенсивностях физиологически активной радиации солнца (ФиАР, 380-750 нм). Эти низкоэнергетические, или информационно-регуляторные процессы, были объединены в одну группу – процессы фотоморфогенеза, в ходе которых меняются структура организмов, органелл и органов, их форма, скорость развития и др. Были выявлены фоторегуляторные системы, отвечающие за запуск этих реакций и их направленность [1, 6, 31, 33].

Между тем очень мало внимания уделялось их адаптационной роли, их исторической обусловленности климатическими факторами, хотя любые фотобиологические процессы могут быть так или иначе вызваны к жизни и функционированию исключительно одним из параметров солнечной радиации, причем фактором с низкой энергетической плотностью, при которой и может осуществляться регуляция малоэнергоемких процессов.

## Методические аспекты исследования

Огромное количество работ экспериментального и теоретического характера были посвящены одной, но очень важной фотозависимости ростовых процессов от продолжительности дня и ночи (фотопериодизм), которые определяют возможность перехода от роста вегетативных органов к формированию органов репродуктивных [6, 15, 20, 21]. Эти работы позволили выявить многообразие типов, прежде всего, фотопериодических реакций зацветания (ФРЗ), среди которых наиболее хорошо стали известны так называемые растения нейтральные, длиннодневные, короткодневные, длинно-короткодневные, коротко-длиннодневные, стенофотопериодические (промежуточные) и амфи-фотопериодические, способные развиваться как на коротком, так и длинном дне.

Фактически, с открытием в начале XX в. Гарнером и Аллардом ФРЗ, зависящей от длины дня, был открыт «новый мир» разнообразия растений по отношению к длине дня. Она явилась основным и по существу единственным датчиком (указателем) настоящего и, главным образом, последующих гидротермических условий роста, позволяющих или не позволяющих переходить к формированию генеративных органов.

Под понятием «длина дня» всегда имелась в виду астрономическая длина дня – от восхода солнца до захода. На светлые периоды суток вне этого периода (т.е. на сумерки) внимание не обращалось.

Ныне хорошо известна климатическая обусловленность этих типов реакций, позволяющих растениям заранее готовиться к последующим неблагоприятным условиям (засуха, холода и др.) и успевать созреть до этих экстремальных условий.

Наряду с изучением ФРЗ, ее зависимости от длины фотопериода у различных видов растений, произрастающих в естественных условиях, такие же работы стали проводиться в различного типа вегетационных домиках, теплицах и оранжереях. В ходе этих работ преследовались научные и научно-практические цели физиологического, селекционного, генетического характера, познание соотношений между скоростью роста и продуктивностью на фоне разных гидротермических условий [10, 15, 32].

Для этого в опытах растениям создавали различные по интенсивности солнечной радиации режимы в течение дня, ослабляя радиацию в те или иные часы. Особенно широкое развитие получили исследования по ФРЗ в теплицах, позволяющих использовать их в течение всего осенне-зимнего периода. К тому же, в них стали применять и искусственное освещение, усиливающее общую интенсивность радиации над растениями.

Было установлено, что для относительно эффективного роста вегетативных органов необходим был как минимум основной период с интенсивным освещением (ПОО). Как правило, такой период независимо от типа растений должен был быть не менее 8-10 ч. Однако растениям длинного и короткого дня для ускорения развития первых и задержки развития вторых ПОО был короток – нужно было удлинять фотопериод хотя бы до 16-18 ч.

Именно с развитием электросветокультуры растений закрытого грунта (в теплицах) и на основании большого количества исследований по оптимизации светового режима проявился научно-практический интерес к дополнительной досветке растений (как в период основного освещения, так и после него) и было установлено, что в целях регуляции скорости ФРЗ можно и экономично осуществлять не только высокими,

но и низкими интенсивностями физиологически активной радиации (ФиАР – 20-30 Вт/м<sup>2</sup>), прежде всего, от ламп накаливания, чтобы при этом не было перегрева растений инфракрасными лучами, которых в излучении ламп содержалось до 90%. Было принято, что этот период дополнительного освещения (ПДО) не требует использования высоких интенсивностей [10]. Как правило, период дополнительного освещения давался после основного и лишь в очень редких случаях, причем из чисто экономических соображений, ПДО предшествовал основному. В ряде опытов было выявлено, что при такой последовательности освещения утренняя досветка была не менее эффективна, чем вечерняя, а порой эффект от нее был даже больше.

### Результаты и обсуждения

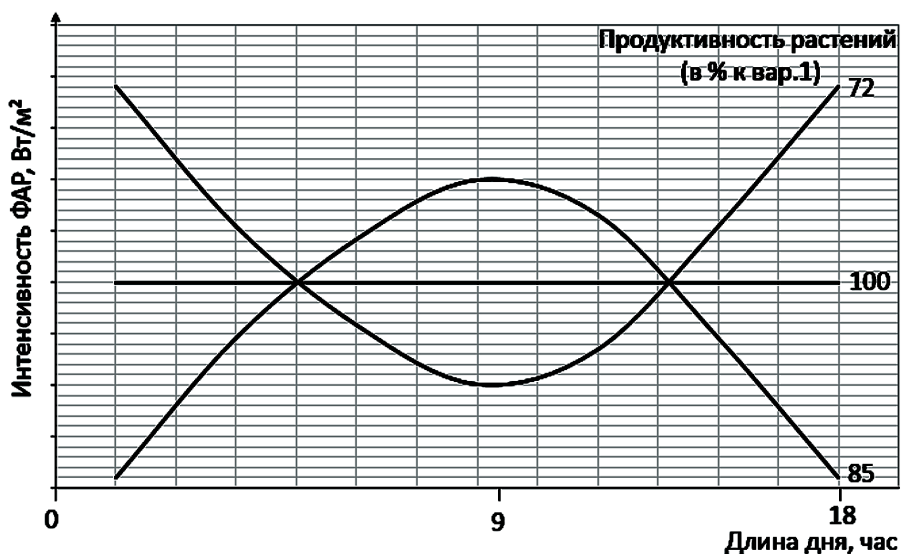
Был поставлен вопрос о том, все ли равно растениям, если удлиняющую день досветку давать в разное время дня – до периода ПОО, после него, сохраняя тот же фотопериод. Опыты в фитотроне с яровой пшеницей показали, что наибольшая скорость развития, повышающая текущую конечную продуктивность, была отмечена в вариантах «слабый свет – ПОО – слабый свет» (рис. 1), что аналогично суточному ходу интенсивностей в естественных условиях.



**Рис. 1.** Влияние последовательности периода основного освещения (ПОО) и дополнительного (ПДО) на продуктивность колоса яровой пшеницы. Интенсивность ФАР в ПОО 250 Вт/м<sup>2</sup>, в ПДО – 40 Вт/м<sup>2</sup>

Такая последовательность наводила на мысль о некотором сходстве хода радиационного режима, даваемого в опыте, с примерным ходом СР в течение светового дня и в этом случае именно слабый свет ПДО (начала и конца физиологического дня) мог играть весьма значимую роль, причем роль малозначимую в отношении формирования одной и той же величины биомассы.

Были повторены опыты сходного характера, которые также проведены в камерах фитотрона ИФР им. К.А. Тимирязева. Растения той же яровой пшеницы выращивали при трех различных режимах – в первом случае при постоянной интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР, 380-710 нм) в течение 16 и 18 – часового фотопериода, во втором – при изменении интенсивности ФАР в течение дня по кривой, в принципе сходной с дневным ходом радиации в естественных условиях, и в третьем случае – по аномальной кривой, противоположной типичному ходу прихода радиации в природе (рис. 2). Важным было то, что и длина фотопериода (18 ч) и суточная доза ФАР во всех трех вариантах была одинаковой. Максимальная интенсивность ФАР составляла примерно 300 Вт/м<sup>2</sup>, а минимальная – 30 Вт/м<sup>2</sup>.



**Рис. 2.** Схема хода интенсивности ФАР в течение фотопериода при выращивании яровой пшеницы в камерах фитотрона. Опыты с 5-го по 20-й день от всходов, далее рост при постоянной интенсивности (вариант 1)

Результаты оказались несколько неожиданными и нестандартными: более быстрое развитие, большее накопление биомассы растениям, включая массу зерновок в колосе, имело место во втором варианте, в котором приход ФиАР и ФАР подобен таковому в естественных условиях при безоблачной атмосфере. Таким образом, именно последовательность низких и высоких интенсивностей влияла на особенности продукционного процесса.

На адаптивный характер специфичности реакции растений в течение фотопериода указывают, в частности, известные экспериментальные данные об изменчивости световых кривых как истинного фотосинтеза, так и газообмена листьев: в течение светового дня даже при постоянной интенсивности освещения меняется угол наклона кривых, время выхода на плато насыщения, высота самого плато, причем наибольшая изменчивость имеет место при наиболее низких интенсивностях падающей и поглощённой ФАР, при которых массообмен по  $\text{CO}_2$  слишком мал, чтобы играть регуляторную роль в высоко-энергетических процессах.

Если ход интенсивности ФАР СР имеет значимость для характера протекания ряда процессов, а сами процессы имеют, как известно, адаптивную природу, то эта адаптивность выработана как реакция на радиационно-обусловленную климатическую изменчивость, проявляемую в ходе онтогенеза.

Возникал вопрос – о каком периоде суток можно говорить как о закономерном, важном для растения интервале времени, в течение которого растения постоянно (ежесуточно, ежемесячно), «сталкиваются» со значимой для них низкой интенсивностью радиации, достаточной тем не менее для физиологически активной ее роли?

Таким периодом, о котором вообще до наших работ и работ И.Г. Тараканова

упоминали очень немногие исследователи, являются утренние и вечерние сумерки, в течение которых совершается переход от ночи к дню и от дня к ночи [18, 19, 25, 34].

В агрометеорологической литературе было описание сумерек (гражданских), причем в хорошем учебнике по сельскохозяйственной метеорологии [9], но их значимость ограничивается чисто техническим отношением к ним: «Возможная продолжительность времени производства полевых работ без искусственного освещения определяется промежутком времени от начала утренних сумерек, до окончания вечерних».

Далее дана краткая физическая характеристика этому радиационному периоду, о котором подробно говорится в [19]. Как известно, после захода солнца за горизонт ночь («полная темнота»), если она и наступает в данное летнее время года, возникает не мгновенно: существует переходный период от света к темноте вечером, или от темноты к началу астрономического дня утром. Сумеречные явления обусловлены тем, что до восхода солнца и его захода прямые лучи не достигают поверхности земли в данном месте, но освещают небо, и чем ниже опускается солнце под горизонт, тем более высокие слои атмосферы посылают на землю рассеянную радиацию.

Сумерки принято делить на три периода: *гражданские* (период между восходом или заходом солнца и моментом, когда глубина погружения солнца равна 6°; в этот период можно читать, видеть цифры часов и т.д.); *навигационные* (глубина погружения солнца от 6 до 12°) и *астрономические* (солнце от 12 до 18° ниже горизонта, в этот период уже хорошо видны звезды, после него наступает ночь).

Как и следовало ожидать, в первый период, т.е. в гражданские сумерки, поток рассеянной солнечной радиации в области ФАР может быть вполне достаточным для осуществления низкоэнергетических фотобиологических процессов в растениях. Так, согласно данным измерений, приводимых в книге [26], и нашим – в Московском регионе, радиация изменяется для ясного безоблачного неба примерно так, как показано в табл.1.

Таблица 1

**Освещенность и интенсивность радиации в период гражданских сумерек (приближенные значения)**

Глубина погружения Солнца, град	Освещённость, лк		Интенсивность ФАР для ясного неба, Вт/м <sup>2</sup>
	без облаков	низкая облачность	
0,0	650-1000	245-300	~ 4-6
1,0	395-700	75-110	3-5
2,0	200-500	30-60	2-4
3,0	100-200	10-30	1-2
4,0	30-50	5-15	0,2-0,5

Такие интенсивности являются физиологически активными для многих видов растений, индуцирующими или ингибирующими ФРЗ. Так, для многих короткодневных видов растений весьма значимыми являются интенсивности порядка 0,01-0,1 Вт/м<sup>2</sup>. Изменение подобных интенсивностей в периоды дополнительного освещения (как в начале, так и в конце фотопериодов) может оказывать заметное физиологическое действие, что позволяет говорить о том, что гражданские сумерки (о которых будет

говориться далее), или их часть являются несомненным компонентом физиологически активного фотопериода, который можно и необходимо учитывать.

Такой единый фотопериод, включающий в себя гражданские сумерки, назван нами физиологически активной длиной дня (ФАДД), заведомо большей чем длина астрономического дня. Новое понятие стало признанным – оно вошло в современные учебники по сельскохозяйственной метеорологии и климатологии.

В качестве подтверждений представлений именно о гражданских сумерках как части физиологической длины дня, независимо от наших исследований, могут рассматриваться также более ранние классические исследования американских ученых о спектрах действия явно не фотосинтетических процессов (прорастание семян, формирование и рост гипокоткеля, начало превращения протохлорофилида в хлорофиллы, разворачивание листьев, по ФРЗ при прерывании ночи светом и т.д.), по участию в них очень чувствительных к свету ранее неизвестных фоторецепторных систем – фитохромов с их обратимыми формами [1, 6, 31, 33].

Возникла новая область физиологии растений – фитофизиологический морфогенез, т.е. по существу область изучения действия не фотосинтетических низкоэнергетических реакций и процессов, а область информационно-регуляторного действия слабых потоков лучистой энергии, имеющих место именно в сумерки.

Можно говорить также о значимости спектральной специфики проходящей в сумерки радиации, являющейся несомненно важной для растений.

В данной статье не обсуждается вопрос о спектральной чувствительности реакций фотоморфогенеза как адаптивных к особенностям радиационного режима в сумерки, но некоторые мнения будут высказаны.

Действительно, лишь при сплошной облачности спектральная яркость неба в сумерки, как и днем, практически одинакова в разных его альмукантаратах. Однако при ясном небе солнце еще до его захода не только «теряет» яркость, но и начинает «менять» свой цвет – в спектре проходящей радиации практически полностью исчезает коротковолновая часть. К моменту захода солнца, становящегося темно-красным, и вдоль солнечного горизонта вытягивается полоса зари, тогда как противоположная сторона горизонта освещена слабо и достаточно тускло [17,18].

Наиболее важное в спектральном и энергетическом отношении изменение происходит в околосолнечной стороне неба – окраска его меняется. У горизонта небо густо краснеет и над горизонтом возникает расплывающееся розовое пятно, дающее так называемый пурпурный свет, достигающий максимального развития при уходе солнца на 4-5° ниже горизонта. К концу гражданских сумерек заря (закономерная смена цветов неба) затухает.

Из области заревого сегмента интенсивность проходящего сумеречного света весьма существенна (8-10 Вт/м<sup>2</sup>) и в нем преобладают оранжево-красные лучи, что, по-видимому, не безразлично для деятельности низкоэнергетических информационно-регуляторных систем растений, особенно фитохромов. К тому же, если учесть разнообразную ориентацию листьев у растений, то понятно, что к части из них придут из этого сектора именно красные – дальние красные лучи с постоянно изменяющимся их соотношением.

Важно учесть и то, что гражданские сумерки, особенно с зарей, явление достаточ-но продолжительное, зависящее от времени года и географической широты (табл. 2-3) [2] .

Таблица 2

**Продолжительность гражданских сумерек  
на широтах от 50 до 60°, мин**

Дата	Широта, град					
	50	52	54	56	58	60
<b>1 V</b>	38	40	43	46	50	56
<b>15 V</b>	4	43	47	51	57	1 ч 05 мин
<b>1 VI</b>	42	47	52	59	1 ч 09 мин	1 25
<b>15 VI</b>	45	50	56	1 ч 03 мин	1 16	1 45
<b>1 VII</b>	45	49	54	1 02	1 15	1 40
<b>15 VII</b>	43	46	51	57	1 05	1 20
<b>1 VIII</b>	40	42	45	49	55	1 01
<b>15 VIII</b>	37	39	41	44	48	52
<b>1 IX</b>	35	36	38	40	43	45
<b>15 IX</b>	33	35	36	39	41	43

Таблица 3

**Физиологическая длина дня (продолжительность освещения)  
для широт от 40 до 60° (на 15-е число каждого месяца), ч**

Месяц	Широта, град		
	40	50	60
<b>I</b>	10 41	9 49	8 32
<b>II</b>	11 39	11 16	10 42
<b>III</b>	12 49	12 57	13 08
<b>IV</b>	14 13	14 55	16 07
<b>V</b>	15 27	16 45	19 16
<b>VI</b>	16 08	17 50	22 19
<b>VII</b>	15 51	17 24	20 46
<b>VIII</b>	14 47	15 46	17 37
<b>IX</b>	13 26	13 46	14 23
<b>X</b>	12 06	11 57	11 41
<b>XI</b>	11 00	10 19	9 26
<b>XII</b>	10 26	9 26	7 54

Из таблиц видно, что если летом в самые длинные астрономические дни в южных широтах сумерки коротки (25-30 мин), то в умеренных широтах, где длина дня вполне оптимальна для ФРЗ длиннодневных растений (в том числе яровых зерновых культур), гражданские сумерки достигают 1 ч и более, а в более северных районах длятся даже всю ночь.

Стоит вспомнить про часто красочные «белые ночи» Санкт-Петербурга, где «... Не пуская тьму ночную, на золотые небеса, одна заря сменить другую спешит, дав ночи полчаса» (А.С. Пушкин «Медный всадник»), про красоту рассветов и закатов в сумерки над Белым морем и другими северными морями, изумлявшую всех, кто видел неповторимое динамическое многоцветие вечернего неба.



Утренние сумерки столь же значимы, как и вечерние, хотя зори более скромные из-за несколько иного, более «чистого» и более холодного состояния атмосферы после ночного периода, но спектральный радиационный режим их не слишком отличается от такового вечером, хотя выражен слабее, оставаясь прекрасным.

Красоте утренних и вечерних зорь (сумерек) посвящено немало поэтических, очень точных слов: «... Ко мне по воздуху неслись зари торжественные звуки, багрянцем одевая высь» (А. Блок, «Рассвет»), «Короче ночь. Светлей Восток, лучистой и пурпурней... И небеса лазурней» (Л. Чижевский, «В апреле») и др. Не случайно, что не сумеркам как таковым, а зорям уделено так много внимания в русской поэзии и живописи.

Очень вероятно, что основная, наиболее чувствительная информационно-регуляторная низкоэнергетическая фоторецепторная пигментная система фитохромов, состоящая из двух обратимых форм и воспринимающих, главным образом светлокрасный (Red, rot, 650-660 нм) и темно-красный (дальний) свет (far-red, dunkel-rot, 730-740 нм) и в меньшей мере синий (440-460 нм), возникла и действует как адаптивная система именно в сумерки при наличии зари, при восходе и заходе солнца, когда красный, пурпурный, темно-красный свет может являться доминирующим и который могут воспринимать растения для осуществления процессов фоторегуляции своей жизнедеятельности.

Способы влияния радиационного режима в сумерки на растения и, в частности, на скорость развития (т.е. на наступление ФРЗ), и в итоге на конечную продуктивность представлены далее.

### *1. Изменение длины сумерек как фактор влияния радиации на фотопериодическую реакцию перехода растений к репродуктивной фазе*

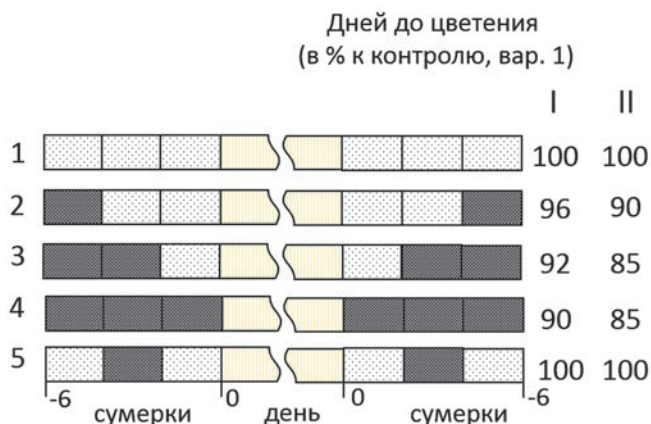
Один из вопросов роли радиационного режима в сумерки касался значимости изменения общей длины длинного дня (с сумерками) на скорость развития растений при условии, что астрономическая длина дня вполне достаточна для осуществления ФРЗ у длиннопдневных растений.

В литературе по фотопериодизму растений вполне обоснованно принято считать, что для ФРЗ типичных длиннопдневных растений достаточно 16-18 ч фотопериода и его дальнейшее увеличение (до 20-24 ч) практически не влияет на увеличение скорости развития [10,15, 21]. Как показано в наших исследованиях, это положение справедливо, если период основного освещения (в разных вариантах опытов) одинаков, а в период дополнительного освещения разной длины интенсивность света мала и на положительный газообмен не влияет. Однако, если растения выращиваются при одной и той же, причем высокой интенсивности ФиАР, то скорость развития на 20-24 – часовом дне выше, чем на 16-18 – часовом дне, что обусловлено более интенсивными ростовыми и органообразовательными процессами.

Казалось бы, то, что выяснено в экспериментальных условиях фитотронов, камерах искусственного климата, должно иметь место и в естественных условиях.

Некоторые эксперименты, проведенные в естественных условиях Московского региона при выращивании яровой пшеницы «Московская 35» (всходы появились 10 мая), рассмотрены далее растения, находящиеся в вегетативном состоянии (III этап органогенеза) и практически готовые перейти через шесть-восемь дней к IV этапу (формированию зачаточных колосковых бугорков в конусе нарастания), в первом

опытном варианте накрывали светонепроницаемой камерой в самом конце гражданских сумерек на ночь и открывали к моменту начала гражданских сумерек следующего дня. Во втором и третьем вариантах растения закрывали при высоте  $-3-4^\circ$  соответственно, а утром открывали также при этих высотах, находящегося ниже горизонта солнца. Такое воздействие длилось всего пять дней, после чего растения росли при естественной, физиологически активной длине дня. Результаты опытов схематически представлены на рис.3, где цифрами (-6, 0, 0, -6) указана высота солнца над горизонтом в град.



**Рис. 3.** Зависимость скорости развития яровой пшеницы от периодов затемнения растений. Длина астрономического дня 17 ч 30 мин – 17 ч 40 мин:  
I – Московская 35, II – Пуза

Видно, что именно самые первые минуты начала гражданских сумерек и самые последние «укорачивают» и так длинную физиологически активную длину дня, причем несмотря на то, что в эти начально-конечные отрезки растения получают наименьшую интенсивность радиации. Будет ли это укорочение большим (вариант 3) или меньшим (вариант 2) особой роли не играет.

Следует отметить, что результаты варианта 4 подтверждают существенную значимость наиболее низких интенсивностей, имеющих место в начале и в конце сумерек.

Надо отметить, что сорт «Пуза» индийского происхождения, способный развиваться на менее длинном фотопериоде (14-15 ч) был более чувствительным к укорочению ФАДД (см. рис. 3). Растения, происходящие из более низких широт, сохраняющие генетическую принадлежность к тому или иному типу по ФРЗ, более специализированны в своей чувствительности к изменяемой длине дня.

Близкие, практически аналогичные нашим, экспериментальные данные были получены в многолетних исследованиях И.Г. Тараканова [34]. На большом наборе длиннодневных и короткодневных культур показано, что реакция растений на низкие интенсивности лучистой энергии (будь то индукция скорости развития или ингибирование у длиннодневных и короткодневных форм фотопериодом) зависит от их происхождения. Растения из низких широт более чувствительны к слабому свету и порог чувствительности у них ниже, чем у растений высоких широт. Это вполне объяснимо, так как в южных широтах сумерки, удлиняющие физиологически

активный фотопериод, коротки и буквально каждые минуты света, меняющие ФАДД, информационно значимы для регуляции скорости развития. В высоких широтах гражданские сумерки длиннее и на фоне и так длинного летнего дня несколько минут светового режима не играют столь значимой роли и растениям вполне достаточно начинать воспринимать радиацию с несколько большей интенсивностью.

Из этих опытов и ряда других следует, что длиннодневные растения способны «запускать» (или «запрещать») фотопериодические процессы при очень низких интенсивностях радиации, которыми отмечается реальная физиологически активная длина внутрисуточного периода.

Однозначны ли эти результаты по отношению реакции растений на укорочение ФАДД у длиннодневных растений и есть ли основания задавать подобный вопрос. Оказывается, основания есть.

Дело в том, что ФРЗ растений во многом зависит не только от радиационных условий, но и от гидротермического режима, характерного тому или иному сезону или его части. Можно полагать, что в оптимальных гидротермических условиях задержка в скорости развития может не оказать существенного негативного влияния на длительность всего периода роста, на продуктивность или оказать незначительное влияние. Так оно и есть, судя по данным, приведенным на рис. 4.



**Рис. 4.** Влияние длительности затенения (в течение дня) нижних листьев яровой пшеницы после всходов на последующую продуктивность колоса

Однако из чисто теоретических и экспериментальных соображений следует, что смысл фотопериодической реакции, как адаптивной реакции, заключается в том, чтобы растения по длине дня и тенденции ее изменения «предвидели» сроки наступления неблагоприятных условий и могли до них успеть сформировать полноценные генеративные органы и дать потомство, способное переживать состояние покоя – то ли холода, то ли засухи. В этом случае растения, учитывая опять же специфику изменения ФАДД, в ответ на нее должны ускорять свое развитие, «теряя» при этом некоторые продукционные возможности (например, у злаков массу колоса, количество зерновок и т.д.).

Для подтверждения высказанных соображений были поставлены (рис. 5), опыты в тех же естественных условиях, на таком же участке поля, с тем же сортом яровой пшеницы. Разница заключалась в том, что сев был произведен в конце мая, а всходы появились 3-4 июня. Затенение начато спустя десять дней, т.е. с 15 по 20 июня.



**Рис. 5.** Влияние длительности затенения (в течение дня) нижних листьев яровой пшеницы после всходов на последующую продуктивность колоса

Результаты оказались неожиданно ожидаемыми. Сокращение периода сумерек (т.е. сокращение ФАДД) за счет наиболее низких интенсивностей ФиАР оказало на длиннодневные растения пшеницы индуцирующий эффект на фоне и так длинного фотопериода, причем, чем короче были периоды сумерек, тем быстрее развивались растения. В данном случае они, восприняли, по-видимому, укорочение дня как сигнал скорого наступления более коротких дней и более ранних понижений температуры воздуха.

Тенденция сокращения длины дня содержала информацию для регуляции скорости ростовых процессов, и именно радиация в периоды сумерек была информационно-регуляторным фактором процессов органогенеза. Можно отметить, что поскольку такие яровые злаки, как пшеница, ячмень и др. и их озимые сорта являются генетически длиннодневными по фотопериодической реакции перехода от роста вегетативных органов к формированию зачаточных генеративных органов будущего колоса, постольку укорочение ФАДД в той или иной мере тормозит в принципе этот переход. Поэтому для озимых форм в средней полосе России (например, для пшеницы), уже в сентябре попадающих на короткий день (13 ч и менее) на фоне осеннего понижения температуры воздуха, именно длина дня является очень важным фактором, ингибирующим процесс генеративного развития растений и усиливающим их кушение.

Известно, что продвижение кукурузы как зерновой культуры, по природе короткодневной, из Ставропольского и Краснодарского краев в средние широты России крайне сложно и в условиях длинного дня кукуруза выращивается главным образом на силос [9]. Таким образом, неблагоприятный для кукурузы длинный фотопериод тормозит или подавляет формирование репродуктивных органов (початков).

Можно отметить, что во многих агрометеорологических работах, в том числе и в учебниках, при перечислении конкретных условий для «оптимального» развития

и получения высоких урожаев таких зерновых культур, как кукуруза, озимая пшеница и др. фотопериод как значимый фактор не рассматривался. Так, например, П.И. Колосков [11] отмечает, что «делается попытка включения длины дня в комплексный биоклиматический показатель (БКП), но учет света представляется более сложным, чем учет других компонентов, а условия такого учета и включения его в состав БКП должны быть еще изучены. Поэтому пока рассматривается влияние только температуры и количество влаги». Такая ситуация, как уже отмечалось [30], сохраняется в целом и по настоящее время.

Между тем, еще в 1940-е годы Н.И. Вавилов [5], Н.А. Максимов [14] и ряд других ученых неоднократно отмечали, что интродукция растений возможна, если, во-первых, климатические условия в исходной и новой зоне по основным параметрам среды совпадают или близки и, во-вторых, если путем селекции выводить сорта более пластичные, имеющие больший диапазон адаптивных возможностей, в том числе по отношению к длине дня.

## *2. Влияние изменения интенсивности радиации в сумерки на скорость ФРЗ и конечную продуктивность колоса*

В природной обстановке растения сталкиваются со значительными вариациями прихода ФАР: за счет облачности в одно и то же время она может ослабляться в 6-8 раз. Возникает вопрос – происходит ли влияние разной интенсивности не через фотосинтетическую деятельность, а через работу регуляторно-информационных систем с участием ФиАР, особенно при низких ее интенсивностях, как, например, в сумерки.

Далее рассмотрены опыты с яровой пшеницей, всходы которой не затемняли, а затеняли на 70-75% в течение пяти суток и его влияние на последующий рост.

На рис. 4 (вариант б) показано, что затенение в течение всего дня, включающее в себя и периоды сумерек, вызывало негативную реакцию: задержку развития и снижение продуктивности колоса. Такова же реакция на затенение растений утром и вечером (вариант в), но растения не реагируют на ослабление ФиАР в середине дня (вариант г). В другой серии опытов затенение проводилось на той же яровой пшеницы, но при разной длине дня. Так, пятидневное затенение всходов как на длинном, так и на коротком дне не сказалось на растениях, это говорит о том, что и очень низких интенсивностей ФиАР было достаточно для развития (рис. 5 а-г).

Влияние затенения начинает проявляться уже на фотопериоде 14 ч (вариант д) и особенно при 16 ч, где оно именно утром и вечером (вариант е) оказывает такое же негативное действие, как если бы оно действовало в течение всего фотопериода в 16 ч (вариант д).

Из этих опытов следует, что у яровой пшеницы снижение прихода ФиАР проявляется исключительно при длинном фотопериоде и оно имеет место в наиболее ранние и поздние часы физиологически активного дня.

Итак, интенсивность рассеянной радиации солнца, поступающей из небосвода в гражданские сумерки, является физиологически-активной для восприятия растениями и участвует в информационно-регуляторной деятельности, в том числе в процессах развития.

Возникает вопрос, является ли влияние интенсивности ФиАР в сумерки

непосредственным в соответствии с особенностями световых кривых фото-биологических процессов, или оно опосредованно через какие-то другие механизмы. Этот вопрос не случаен – фоторецепторная пигмент-белковая система участвует в регуляции не по принципу кнопочного «включателя-выключателя» того или иного процесса, а имеет, как уже отмечалось, световые зависимости с лабильными свойствами световых кривых, со своими порогами чувствительности, уровнями насыщения и т.д.

В этом случае у пшеницы, как типичного длиннодневного растения, длина ФАДД играет важную роль, в которой участвуют и сумерки. В таком случае снижение прихода ФиАР в сумерки «автоматически» (чисто физически) укорачивает общую длину фотопериода с интенсивностью радиации выше физиологического порога чувствительности растений. На такое понимание наводят результаты опытов, в которых короткий день (без сумерек) также мог оказывать негативное влияние на скорость развития. Установить, так ли это, дело ближайших экспериментальных исследований.

Наконец, теоретически существует возможность объяснить действие укорочения сумерек, снижения облученности растения в сумерки и с иных позиций.

Ослабление ФиАР в течение ФАДД, затрагивающее утренние и вечерние сумерки и наступающее после «нормальных» радиационных дней и негативно влияющее на растения, можно рассматривать как результат «скачка» в интенсивности радиации в течение фотопериода – будь ли это основной период освещения или в дополнительный, т.е. в сумерки.

Неожиданное, резкое изменение режимов можно рассматривать как аномальное изменение, на которое растение не отвечает столь же быстрым изменением сложившегося до этого комплекса физиологических процессов и их скоростей. Для растения «скачок» может служить не только информацией об изменившихся условиях, но и регулятором процессов последующей минимизации структурно-функциональных параметров, чтобы так или иначе, с меньшими или большими потерями завершить свой цикл развития [16].

Представляется, что такое функциональное понятие – «эффект скачка условий» (в данном случае радиационных в периоды гражданских сумерек) отражает достаточно широкие биологические свойства. Достаточно, указать на две-три ситуации, в которых «скачок» условий может быть крайне «вредным» для растений.

Так, например, весной или в начале лета высокая скорость снижения положительной температуры воздуха перед ночью, указывающая на возможность наступления раннего утреннего заморозка, ведет к более негативному состоянию растений, чем если бы этот процесс шел замедленно.

Точно так же, и это хорошо известно, что постепенное понижение температуры воздуха осенью ведет к так называемой «закалке» растений (при постепенном образовании в них сахаров и флавиновых соединений), что способствует их устойчивости к неблагоприятным условиям зимнего периода, тогда как неожиданное похолодание с околонулевой температурой воздуха может вести к повреждению еще очень активных тканей узла кушения с его апикальной меристемой [23, 24]. А внезапный летний сухой с высокой температурой воздуха может привести к существенному повреждению растений за счет перегрева тканей листьев при разбалансе подачи воды из почвы и интенсивной транспирации в дневные часы.

Следует подчеркнуть, что каким бы ни был в продукционном процессе по величине «эффект скачка», его учет, несомненно будет полезным при разработке детальных физико-математических прогностических агрометеорологических моделей разной

заблаговременности, так как их совершенствование помогает детальнее познавать динамическую сложность процессов в самой атмосфере.

Есть основания надеяться и на то, что само растение – очень чуткий к изменениям среды организм и при всех своих способах саморегуляции и адаптации к среде может в той или иной мере выступать индикатором не только изменившейся, но и изменяющейся среды и ее компонентов, что будет расширять знания о взаимодействиях в системе «почва-растение-атмосфера».

### Выводы

На основе экспериментальных исследований и теоретических представлений обсуждается физиологическая значимость рассеянной солнечной радиации небосводом в периоды в гражданские сумерки для регуляторно-информационных процессов растений.

Подчеркивается, что под понятием физиологически активная длина дня в отношении растений (как и человека с его зрением) целесообразно понимать период от начала утренних и до конца вечерних сумерек, включающий в себя и астрономическую длину дня.

Отмечается целесообразность учета радиационного режима в сумерки при анализе скорости развития яровых зерновых культур и их конечной продуктивности.

### Библиографический список

1. *Алехина Н.Д. и др.* Физиология растений. М.: Академия, 2005. 633 с.
2. Астрономический календарь. Постоянная часть. Изд. 5-е. М.: Физматгиз, 1962. 771 с.
3. *Береза О.В., Страшная А.И., Лупян Е.А.* О возможности прогнозирования урожайности озимой пшеницы в Среднем Поволжье на основе комплексирования наземных и спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 12. 2015. № 1. С. 18-30.
4. *Бюннинг Е.* Ритмы физиологических процессов. М.: ИЛ, 1961. 184 с.
5. *Вавилов Н.И.* Избранные сочинения. Генетика и селекция. М.: Колос, 1966. 554 с.
6. *Ван дер Вин Р., Мейер Г.* Свет и рост растений. М.: Сельхозгиз, 1962. 268 с.
7. *Венцкевич Г.З.* Агрометеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1958. 276 с.
8. *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 им. К.А. Тимирязева, 2011. С. 23-28.
9. *Виткевич В.И.* Сельскохозяйственная метеорология. М.: Сельхозгиз, 1960. 472 с.
10. *Клешина А.Ф.* Растения и свет. М.: АН СССР, 1954. 456 с.
11. *Колосков П.И.* Климатический фактор сельского хозяйства и агроклиматическое районирование. Под ред. Давитая Ф.Ф. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 328 с.
12. *Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А.* Физиология растений. М.: Высш. шк., 2006. 742 с.
13. *Любименко В.Н.* Избранные труды. Киев АН УССР, 1963. Т. 1. 613 с.
14. *Максимов Н.А.* Краткий курс физиологии растений. М.: Сельхозгиз. 1958. 557 с.
15. *Мошков Б.С.* Выращивание растений при искусственном освещении. Л.: Сельхозгиз, 1966. 287 с.
16. *Полуэктов Р.А., Топаж А.Г.* Принцип оптимальности в математических моделях органогенеза // Матем. моделирование. 2005. С. 59-73.

17. *Пылдмаа В.К.* Интерпретация некоторых особенностей яркостной картины сумеречного неба // Изв. АН СССР, сер. Физика атмосферы и океана. Т. 1, 1965. № 11. 1168-1177 с.
18. *Розенберг Г.В.* Сумеречные явления, их природа и использование для исследования атмосферы // УФН, 79. Вып. 3. 1963. 441-522 с.
19. *Розенберг Г.В.* Сумерки. М.: Физматгиз, 1964. 380 с.
20. *Скрипчинский В.В.* Естественное изменение длины дня в тропиках как фактор, регулирующий ритмы роста и развития местных растений. Бот. Ж. 1958. № 4. С. 650-678.
21. *Скрипчинский В.В.* Приспособительное значение фотопериодической реакции некоторых злаков и ее эволюционное возникновение. Вопросы ботаники. Л., 1960. Вып. 3. С. 152-182.
22. *Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В.* Агрометеорологические особенности засухи 2010 года в России по сравнению с засухами прошлых лет // Тр. Гидрометцентра России. 2011. Вып. 345. С. 194-214.
23. *Трунова Т.Н.* Световой и температурный режимы при закаливании озимой пшеницы и значение олигосахаров для морозостойкости // Физиология растений. Т. 12. 1965. № 1. С. 85-93.
24. *Туманов И.И.* Физиология закаливания и морозостойкость растений. М.: Наука, 1979. 352 с.
25. *Шаронов В.В.* Спектральный состав дневного неба // Природа. – 1938. № 4. С. 18-24.
26. *Шаронов В.В.* Таблицы для расчетов природной освещенности и видимости. Л. АН СССР, 1945. 200 с.
27. *Шульгин И.А.* Солнечная радиация и растения. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 179 с.
28. *Шульгин И.А.* Лучистая энергия и энергетический баланс растений. М.: Альтекс, 2004. 141 с.
29. *Шульгин И.А.* Солнечные лучи в зеленом растении. М.: Альтекс, 2009. 214 с.
30. *Шульгин И.А., Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Береза О.В.* Энергобалансовая оценка урожайности яровых культур // Изв. ТСХА № 5, 2015. С. 61-80.
31. *Borthwick H.A., Hendricks S.B.* Effects of radiation on growth and development. Handbuch der Pflanzenphysiologie, 16 Springer-Verlag, Heidelberg, 1961.
32. *Kleschnin A.F.* Die pflanze and clas licht. Berlin, Akademie-Verlaq, 1960, 619 с.
33. *Mohr H.* Primary effect of light on growth. Ann. Rev. Plant Physiol., 13, 1962.
34. *Tarakanov I.G.* Light Control of Growth and Development in Vegetable Plants with Various Life Strategies // Acta Horticulturae, 2006, V. 711, P. 315-321.

## TWILIGHT SOLAR RADIATION AS A PHYSIOLOGICAL ACTIVE FACTOR OF DEVELOPMENT INTENSITY OF SPRING GRAIN CROPS

I.A. SHULGIN<sup>1,2</sup>, R.M. WILFAND<sup>1</sup>, O.V. BEREZA<sup>1</sup>, A.I. STRASHNAYA<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation,  
<sup>2</sup>M.V. Lomonosov Moscow State University)

*Basing on experimental data and theoretical concepts, the authors consider physiologically-active diffuse solar radiation affecting plants during civil twilight periods and playing a*



*physiologically active part in low-energy information-regulatory photomorphogenesis processes and, in particular, in photoperiodic transition reaction of developing reproductive organs in spring crops and in their productivity. The authors emphasize the fact that the concepts of physiological and agrometeorological length of the day (phytoday, photoperiod) should include both the astronomical day length and the periods of civil twilight, which brings about a new functional concept of «physiologically active day length».*

*The problem of the reasons of the decrease in the rate of plant development with decreasing FADD is discussed, either by directly shortening it due to a decrease in the sensitivity to a weak FAD intensity, or due to the «jump effect» (abrupt change in the radiation regime, without rapid adaptation to it).*

*It is noted that new information on the physiological role of the previously unexplored radiation in the twilight can later be used by agro-meteorologists in developing more complex multifunctional physical-and-mathematical models, long-term forecasts of the production process of spring grain crops.*

**Key words:** solar radiation, civil twilight, dawns, physiologically active day length, plant development, spring crops

## References

1. *Alekhina N.D. i dr. Fiziologiya rasteniy [Plant Physiology]. M.: Akademiya, 2005. 633 p.*
2. *Astronomicheskiy kalendar'. Postoyannaya chast'. Izdaniye 5-ye. [The astronomical calendar. Permanent part. 5th Edition.]. M.: Fizmatgiz, 1962. 772 p.*
3. *Bereza O.V., Strashnaya A.I., Lupyayev Ye.A. O vozmozhnosti prognozirovaniya urozhaynosti ozimoy pshenitsy v Srednem Povolzh'ye na osnove kompleksirovaniya nazemnykh i sputnikovykh dannyykh [On the possibility of the prediction of winter wheat in the Middle Volga region on the basis of aggregation of terrestrial and satellite data] // Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, Vol. 12, 2015. Issue 1. Pp. 18-30.*
4. *Byunning Ye. Ritmy fiziologicheskikh protsessov [The rhythms of physiological processes] // M. IL. 1961. 184 p.*
5. *Vavilov N.I. Izbrannyye sochineniya. Genetika i selektsiya [Selected works. Genetics and breeding]. M.: Kolos, 1966. 554 p.*
6. *Van der Vin R., Meyyer G. Svet i rost rasteniy [Light and plant growth]. M.: Sel'khozgiz, 1962. 268 p.*
7. *Ventskevich G.Z. Agrometeorologiya [Agrometeorology]. L.: Gidrometeoizdat, 1958. 276 p.*
8. *Vil'fand R.M., Strashnaya A.I. Klimat, prognozy pogody i agrometeorologicheskoye obespecheniye sel'skogo khozyaystva v usloviyakh izmeneniya klimata [Climate, weather forecasts and agrometeorological support of agriculture under climate change] // Adaptatsiya sel'skogo khozyaystva Rossii k menyayushchimsya pogodno-klimaticheskim usloviyam. M.: RGAU-MSKhA imeni K.A. Timiryazeva, 2011. Pp. 23-28.*
9. *Vitkevich V.I. Sel'skokhozyaystvennaya meteorologiya [Agricultural meteorology]. M.: Sel'khozgiz, 1960. 472 p.*
10. *Kleshnin A.F. Rasteniya i svet [Plants and lights]. M.: AN SSSR, 1954. 456 p.*
11. *Koloskov P.I. Klimaticheskii faktor sel'skogo khozyaystva i agroklimaticheskoye*

rayonirovaniye [Climatic factor of Agriculture and agroclimatic zoning]. Ed by *Davitaya F.F.* // L.: Gidrometeoizdat, 1971. 328 p.

12. *Kuznetsov V.V., Dmitriyeva G.A.* Fiziologiya rasteniy [Plant physiology]. M.: Vysshaya shkola, 2006. – 742 p.

13. *Lyubimenko V.N.* Izbrannyye trudy [Selected works] // Kiyev AN USSR. 1963. Vol.1. 613 p.

14. *Maksimov N.A.* Kratkiy kurs fiziologii rasteniy [Summary of plant physiology course]. M.: Sel'khozgiz, 1958. 557 p.

15. *Moshkov B.S.* Vyrashchivaniye rasteniy pri iskusstvennom osveshchenii [Growing plants under artificial light]. L.: Sel'khozgiz, 1966. 287 p.

16. *Poluektov R.A., Topazh A.G.* Printsip optimal'nosti v matematicheskikh modelyakh organogeneza [The principle of optimality in mathematical models of organogenesis] // Matem. Modelirovaniye. 2005. Pp. 59-73.

17. *Pyldmaa V.K.* Interpretatsiya nekotorykh osobennostey yarkostnoy kartiny sumerechnogo neba [The interpretation of some brightness features of the twilight sky picture] // Izv. AN SSSR, ser. Fiziki atmosfery i okeana, Vol. 1, 1965. Issue 11. Pp. 1168-1177.

18. *Rozenberg G.V.* Sumerechnyye yavleniya, ikh priroda i ispol'zovaniye dlya issledovaniya atmosfery [Twilight phenomena, their nature and use for atmospheric research] // UFN, 79. Issue 3, 1963. 441-522 p.

19. *Rozenberg G.V.* Sumerki [Twilight]. M.: Fizmatgiz, 1964. 380 p.

20. *Skipchinskiy V.V.* Yestestvennoye izmeneniye dliny dnya v tropikakh kak faktor, reguliruyushchiy ritmy rosta i razvitiya mestnykh rasteniy [The natural variation in the length of the day in the tropics as a factor that regulates the rhythms of native plant growth and development] // Bot. ZH. 1958. Issue 4. Pp. 650-678.

21. *Skipchinskiy V.V.* Prisposobitel'noye znachenkiye fotoperiodicheskoy reaktssii nekotorykh zlakov i yeye evolyutsionnoye vozniknoveniye. Voprosy botaniki [The adaptive significance of photoperiodic reaction of some cereals and its evolutionary emergence. Botany issues]. L., 1960. Issue 3. Pp.152-182.

22. *Strashnaya A.I., Maksimenkova T.A., Chub O.V.* Agrometeorologicheskkiye osobennosti zasukhi 2010 goda v Rossii po sravneniyu s zasukhami proshlykh let [Agrometeorological fetures of the drought of 2010 in Russia in comparison with the previous years] // Trudy Gidromettsentra Rossii. 2011. Vyp. 345. Pp. 194-214.

23. *Trunova T.N.* Svetovoy i temperaturnyy rezhimy pri zakalivanii ozimoy pshenitsy i znachenkiye oligosakharov dlya morozostoykosti [Light and temperature conditions during the hardening of winter wheat and the frost-resistance role of oligosaccharides] // Fiziologiya rasteniy. Vol.12. 1965. Issue 1. Pp. 85-93.

24. *Tumanov I.I.* Fiziologiya zakalivaniya i morozostoykost' rasteniy [Physiology of hardening and frost resistance]. M.: Nauka, 1979. 352 p.

25. *Sharonov V.V.* Spektral'nyy sostav dnevnogo neba [Spectral composition of the daytime sky] // Priroda. 1938. Issue 4. Pp. 18-24.

26. *Sharonov V.V.* Tablitsy dlya raschetov prirodnoy osveshchennosti i vidimosti [The tables for the calculation of natural illumination and visibility]. L.: AN SSSR, 1945. 200 p.

27. *Shul'gin I.A.* Solnechnaya radiatsiya i rasteniya [Solar radiation and plants]. L.: Gidrometeoizdat, 1967. 179 p.

28. *Shul'gin I.A.* Luchistaya energiya i energeticheskiy balans rasteniy [Radiant energy balance and energy plants] // M. – Al'teks, 2004. – 141 p.

29. *Shul'gin I.A.* Solnechnyye luchy v zelenom rastenii [Sunlight in the green plant]. M.: Al'teks, 2009. 214 p.

30. *Shul'gin I.A., Vil'fand R.M., Strashnaya A.I., Bereza O.V.* Energobalansovaya otsenka urozhaynosti yarovykh kul'tur [Energy balance assessment of spring crops] // *Izv. TSKHA*. Issue 5. 2015. Pp.61-80.

31. *Borthwick H.A., Hendricks S.B.* Effects of radiation on growth and development. *Handbuch der Pflanzenphysiologie*, 16 Springer-Verlag, Heidelberg, 1961.

32. *Kleschnin A.F.* Die pflanze and clas licht. Berlin. Akademie-Verlaq. 1960. 619 p.

33. *Mohr H.* Primary effect of light on growth. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 13. 1962.

34. *Tarakanov I.G.* Light Control of Growth and Development in Vegetable Plants with Various Life Strategies // *Acta Horticulturae*. 2006. Vol. 711. Pp. 315-321.

**Шульгин Игорь Александрович** – д-р биол. наук, проф. кафедры метеорологии и климатологии МГУ им. М.В. Ломоносова, вед. науч. сотр. ФГБУ «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации» (119991, г. Москва, Ленинские горы, 1; тел. (495) 939-29-42; e-mail: ufarin@yandex.ru).

**Вильфанд Роман Менделевич** – д-р техн. наук, директор ФГБУ «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации» (123242, г. Москва, Большой Предтеченский переулок, 11-13; тел. (499) 252-34-48; e-mail: vilfand@mecom.ru).

**Береза Ольга Викторовна** – зав. отделом агрометеорологических прогнозов ФГБУ «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации» (123242, г. Москва, Большой Предтеченский переулок, 11-13; тел. (499) 252-42-48; e-mail: chub@mecom.ru).

**Страшная Анна Ильинична** – канд. г. наук, вед. науч. сотр. отдела агрометеорологических прогнозов ФГБУ «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации» (123242, г. Москва, Большой Предтеченский переулок, 11-13; тел. (499) 252-42-48; e-mail: ais@mecom.ru).

**Igor A. Shulgin** – DSc of Biological Sciences, professor, Department of Meteorology and Climatology, Moscow State University named after M.V. Lomonosov; key researcher of the State Organization «Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation» (119991, Moscow, Leninskiye Gory, 1; phone (495) 939-29-42; e-mail: Ufarin@yandex.ru).

**Roman M. Vilfand** – DSc of Engineering Sciences, Director of the State Organization «Russian Hydrometeorological Research Center» (123242, Moscow, Bolshoy Predtechenskiy per., 11-13; phone (499) 252-34-48, e-mail: vilfand@mecom.ru).

**Olga V. Bereza** – Head of Department of Agro-Meteorological Forecasts, «Russian Hydrometeorological Research Center» (123242, Moscow, Bolshoy Predtechenskiy per., 11-13; phone: (499) 252-42-48, e-mail: chub@mecom.ru).

**Anna I. Strashnaya** – PhD in Geographical Sciences, Department of Agro-Meteorological Forecasts, Russian Hydrometeorological Research Center (123242, Moscow, Bolshoy Predtechenskiy per., 11-13; phone (499) 252-42-48, e-mail: ais@mecom.ru).