

Проблемы, обзоры, итоги

УДК 631/635:581.5:535.31:57.08

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ИСТОЩЕНИЯ ОЗОНА АТМОСФЕРЫ ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА (обзор)

Г.В. КОЗЬМИН, К.В. МАНИН, Т.В. ЧИЖ

Представлен обзор современных методических подходов к изучению биологического действия ультрафиолетового (УФ) излучения для оценки последствий истощения озона стратосферы, а также при использовании искусственных источников УФ-излучения в растениеводстве. Показана необходимость пересмотра части ранее полученных данных и более строгой постановки экспериментов с использованием ламповых систем, моделирующих УФ-воздействие при истощении стратосферного озона. Небывалая убыль стратосферного озона в Арктике весной 2011 года позволяет говорить об актуальности исследований по оценке последствий его истощения для растениеводства северных территорий Российской Федерации.

Ключевые слова: УФ-радиация, истощение озона стратосферы, высшие растения, сельскохозяйственные культуры, биологически эффективные дозы, спектры биологического действия, потери урожая сельскохозяйственных культур.

Keywords: UV-radiation, ozone reduction, higher plants, field crops, biological effective dose, action spectra, crop losses.

Изменения свойств биосферы и загрязнение окружающей среды, которые мы отмечаем в настоящее время и, по-видимому, будем наблюдать в ближайшие десятилетия, включают в себя как глобальные модификации климата, так и различные региональные загрязнения. Среди глобальных экологических факторов, воздействующих на наземные экосистемы и, соответственно, на агросферу, особое место занимает УФ-излучение, интенсивность которого повышается в связи с сокращением количества стратосферного озона. К концу XX столетия над странами Европы такое сокращение составляло примерно 1 % в год (1). При современном состоянии биосферных явлений в связи с образованием весной 2011 года небывалой арктической «озоновой дыры» (2) отмеченная тенденция может усиливаться. Уровни УФ-В (280-320 нм) и УФ-А (320-400 нм) радиации, варьирующие и достигающие максимальных значений весной и летом, способны влиять на урожай сельскохозяйственных культур. Показано, что даже небольшое увеличение интенсивности УФ-света в коротковолновой области солнечного спектра существенно воздействует на рост и развитие у многих видов растений (1, 3, 4).

К настоящему времени накоплен значительный экспериментальный материал о биологическом эффекте, оказываемом УФ-излучением (УФИ) на природные фитоценозы и сельскохозяйственные культуры. С 1950-х годов проводились исследования влияния УФИ на естественную растительность в условиях высокогорья, отличающегося от равнинной местности повышенными уровнями УФ-радиации (5). Результаты наблюдений, касающихся влияния УФ-В-радиации, а также совместного действия УФИ, приоритетных климатических и техногенных факторов на растения, обобщены и опубликованы в ряде обзорных статей (3, 6-8), обсуждаются вопросы применения УФ-излучения для предпосевной обработки и стимуляции развития вегетирующих растений (9-11). Анализ опубликованных данных демонстрирует различные методические подходы при экспериментальной оценке биологического действия ультрафиолетового излучения на

естественную растительность и сельскохозяйственные культуры. В связи с этим провести сравнительную оценку полученных результатов часто бывает затруднительно.

Цель настоящей работы состояла в обзоре современных методических подходов к изучению характеристик биологического действия ультрафиолетового излучения при оценке последствий истощения озона стратосферы, а также использовании искусственных источников УФ-излучения в растениеводстве.

Большая часть современных исследований по влиянию УФ-В-радиации на наземные экосистемы связана с оценкой биологического действия в полевых условиях. Давно признано, что проведение таких экспериментов в теплице или климатической камере сильно завышает эффекты дополнительного УФ-В-излучения (7). Поэтому уже более 25 лет назад опыты начали проводить в полевых условиях с использованием специальных ламповых систем, моделирующих УФ-облучение для заданной степени истощения озона стратосферы. Наряду с такими экспериментами не меньшее число полевых наблюдений проведено с применением специальных фильтров, которые устраняют или ослабляют УФ-В-излучение в нормальных условиях солнечного освещения (при этом контрольные фильтры прозрачны для УФ-В). В большинстве случаев, когда УФ-В-излучение ослабляется, растения характеризуются лучшим ростом, следовательно, УФ-В-радиация в какой-то мере угнетает их развитие (12, 13).

Аналогичные результаты были получены в условиях высокогорий, где интенсивность УФ-излучения велика по сравнению с равниной, что существенно сказывается на жизнедеятельности растений (14-16). В частности, показано (17), что экстремальные условия Памира вызывают ряд изменений анатомо-морфологических признаков растений: микрофилию, приземистость, образование большого числа спящих почек, приобретение более ксероморфного строения листьев. Выраженность биологических эффектов зависит от вида растений. При экранировании УФ-радиации в условиях высокогорий у растений увеличивается высота, толщина листовой пластинки, число и размеры устьиц, продуктивность. Было отмечено, что эпидерма листа как полифункциональная система защищает нижележащие ткани от вредного воздействия внешних факторов, в том числе благодаря фенольным соединениям, которые эффективно поглощают УФ-В-радиацию (17).

Эксперименты по изучению влияния солнечной УФ-радиации также проводились в регионах с повышенным УФ-излучением, вызванным образованием «озоновой дыры», — в районах архипелага Огненная Земля и территории юга Аргентины (18, 19). Местные травянистые растения подвергались в обоих регионах влиянию повышенных доз ультрафиолета. Результаты опытов с использованием специальных фильтров для ослабления УФ-В-радиации позволили установить существенное ингибирование роста растений, связанное с повышением фона УФИ. Действие УФ-В-излучения на рост растений усиливалось с увеличением степени истощения озонового слоя (18).

Установлено, что повышенные уровни УФ-В-радиации вызывают различные морфофизиологические изменения у растений. Наблюдается снижение скорости линейного роста стебля, уменьшение коэффициента кушения и числа колосоносных побегов у пшеницы (20). У проростков картофеля увеличение продолжительности ежедневного действия УФ-В-излучения приводит к уменьшению высоты стебля и площади листовой поверхности (21). Эффекты действия УФ-В-радиации зависят от стадии

онтогенеза растений, причем наибольшая чувствительность проявляется при переходе от вегетативной к репродуктивной фазе развития (22). Основной мишенью УФ-воздействия на этой стадии служат пыльцевые зерна ветроопыляемых растений. Дополнительное УФ-В-облучение может влиять на опыление, снижать количество производимой пыльцы и семенную продуктивность растений (22). У чувствительных генотипов повышенные дозы облучения вызывают деформацию пыльцевых зерен. Критическим этапом опыления считается фаза прорастания пыльцевого зерна, когда генеративная клетка или образовавшиеся из нее спермии выходят в пыльцевую трубку и оказываются не защищенными от ультрафиолетового излучения. Это особенно опасно для видов с двуклеточным типом пыльцевого зерна, при котором деление генеративной клетки происходит в пыльцевой трубке. У многих видов покрытосеменных дополнительное УФ-В-облучение вызывает уменьшение длины пыльцевых трубок, а у чувствительных генотипов даже слабые потоки УФ-В-излучения (50-70 мВт/м²) способны ингибировать прорастание пыльцы (22).

При дополнительном УФ-В-облучении растений наблюдается изменение гормонального статуса. Например, у арабидопсиса отмечалось увеличение накопления абсцизовой кислоты (23). Указанные изменения приводят к образованию растений с заторможенным ростом, плохой пигментацией и нарушениями формирования листового аппарата. Это, в свою очередь, отражается на функционировании фотосинтетического аппарата. Показано, что фотосистема II более чувствительна к действию УФ-В-радиации, чем фотосистема I. Подобная закономерность обусловлена тем, что УФ-облучение подавляет фотохимическую активность фотосистемы II, вызывая уменьшение потока электронов между фотосистемами (24).

Ультрафиолетовые лучи индуцируют различные повреждения ДНК (22), что может быть причиной повышения частоты мутаций в растительных клетках и негативно сказывается на сохранении генофонда растений.

Таким образом, воздействие ультрафиолетовой радиации на растения охватывает все уровни биоорганизации, а также сигнальную, регуляторную и энергетическую функции (22). Под действием УФ-излучения Солнца и искусственных источников ультрафиолетового света наблюдаются изменения в различных системах растительного организма, происходят биохимические и морфологические изменения, обнаруживаются определенные сдвиги в сроках развития растений. Чувствительность высших растений к ультрафиолетовому излучению существенно зависит от гено- и экотипа, этапа онтогенеза. В частности, из 300 исследованных генотипов около 66 % оказались чувствительными, 25 % — среднечувствительными и только 9 % — нечувствительными к УФ-В-радиации (22). Также обращает на себя внимание то обстоятельство, что УФ-В модифицирует воздействие других экологических факторов, часто действуя аддитивно (7).

Исследования действия ультрафиолетового излучения на живые организмы предполагают использование концепции биологически эффективного УФ-излучения. Эта концепция основана на зависимости показателей биологического действия ультрафиолетового излучения от длины волны. Использование обозначенной концепции заключается в определении вклада УФ-света произвольной длины волны в наблюдаемый эффект относительно биологического эффекта, по величине принятого за единицу, который оказывают кванты УФ-В с определенной длиной волны. Обычно (но не всегда) за единицу относительной биологической эффективности принимается максимальное значение отклика биологической системы, который возникает при воздействии УФ-излучения с конкретной длиной вол-

ны. Например, максимум эритемного действия УФ-В диапазона проявляется при длине волны 297 нм (25). Принято считать, что наибольший бактерицидный эффект УФ-С-области (100-280 нм) соответствует длине волны 254 нм (25). Для других биологических эффектов используются иные функции взвешивания спектральной биологической чувствительности. В фотобиологии указанные зависимости называют спектрами биологического действия. Спектр действия для солнечного ультрафиолета определяют как относительную биологическую эффективность действия различных длин волн полихроматического излучения для конкретного биологического эффекта (1). В качестве примера (рис. 1) приведем спектры биологического действия УФ-излучения Солнца на морфологические и ростовые характеристики высших растений (26, 27), а также эритемный спектр действия для кожи человека (25).

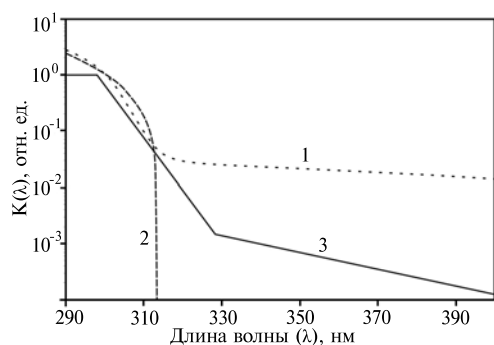


Рис. 1. Спектры действия $K(\lambda)$ УФ-излучения Солнца на морфологические и ростовые характеристики высших растений, а также эритемный спектр действия для кожи человека: 1 — «новый» (современный, данные 2003 года) спектр биологического действия на морфофизиологические и ростовые характеристики высших растений (27), 2 — «старый» (данные 1971 года) спектр биологического действия на морфофизиологические и ростовые характеристики высших растений (26), 3 — спектр эритемного действия на кожу человека (25).

Спектры действия $K(\lambda)$ выражаются не в абсолютных, а в относительных безразмерных величинах. В этом случае биологически эффективная мощность дозы ($P^{эф.}$) определяется интегрированием по длинам волн спектральной плотности энергетической освещенности ультрафиолетового излучения $E(\lambda)$, взвешенной по величинам спектра действия (25):

$$P^{эф.} = \int E(\lambda) K(\lambda) d\lambda \quad [1],$$

где $E(\lambda)$ — спектральная плотность энергетической освещенности, Вт/(м²·нм); $K(\lambda)$ — спектр биологического действия, отн. ед.

Как видно из формулы [1], спектр действия используется в качестве взвешивающего фактора для спектра ультрафиолета от источника излучения, например Солнца (рис. 2), чтобы найти фактическую биологически эффективную мощность дозы (actual biologically effective dose rate) для заданного биологического эффекта.

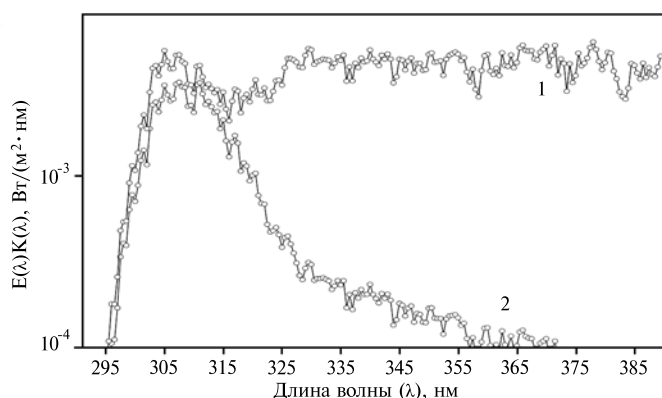


Рис. 2. Спектральная плотность энергетической освещенности $E(\lambda)$ УФ-излучения Солнца, взвешенная по спектрам биологического действия $K(\lambda)$ ультрафиолетового излучения на высшие растения (1) и кожу человека (2) (Варшава, 52°13' с.ш., 21°02' в.д., 11 июня 2004 года, 12 ч по Гринвичу) (28).

Суточная биологически эффективная доза ($D^{эф.}$) определяется интегрированием мощности эффективной дозы $P^{эф.}$ по времени за

24 ч (сутки) с учетом суточного изменения уровня ультрафиолетовой радиации и обычно выражается в Дж/м². На сезонном профиле суточных биологически эффективных доз УФ-излучения для растений и кожи человека в районе Варшавы (28) (рис. 3) в расчетах показателей для растений использовался современный («новый») спектр действия (см. рис. 1).

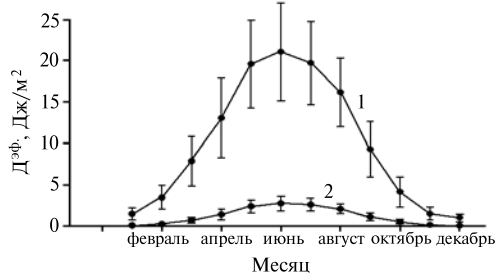


Рис. 3. Сезонный профиль средних за месяц суточных биологически эффективных доз ($D_{эф}$) УФ-излучения для растений (1) и кожи человека (2) в районе Варшавы (28).

искусственных источников УФ-радиации, так и для солнечного излучения.

Современные экспериментальные работы, выполненные в полевых условиях, позволили установить, что вклад УФ-А-области в суммарный биологический эффект ранее недооценивался (29). Показано, что у растений могут наблюдаться различные биологические эффекты, в разной степени зависящие от соотношения плотности потока энергии УФ-А- и УФ-В-радиации. Так, на фотосинтетическую активность будут оказывать влияние как УФ-А, так и УФ-В диапазоны ультрафиолетового света, а на цитогенетические показатели в период цветения растений — в основном длины волн УФ-В-области (15, 22). Полученный в 2003 году S.D. Flint и M.M. Caldwell в результате анализа современных экспериментальных данных «новый» спектр биологического действия УФИ на морфобиологические и ростовые характеристики высших растений (27), который упоминался выше (см. рис. 1), показывает, что УФ-А участвует в этих эффектах в намного большей степени, чем предполагалось ранее (27). «Новый» спектр действия напоминает широко известную обобщенную функцию реакции растений (см. рис. 1), полученную M.M. Caldwell в 1971 году (26), за исключением того, что он учитывает относительную биологическую эффективность в диапазоне УФ-А. Этот спектр действия проверен в полевых условиях, когда растения подвергали влиянию разных комбинаций солнечного и искусственного излучения (29).

Значительное расхождение между биологически эффективными дозами при учете и без учета влияния УФ-А-области излучения наглядно демонстрирует сравнение средних за июль суточных значений плотности энергетической УФ-освещенности при ясном небе, характерных для Рима (41°54' с.ш., 12°30' в.д.), и биологически эффективных доз для растений (30): при 290-400 и 290-320 нм энергетическая освещенность — соответственно 1642,0 и 79,4 кДж/м², биологически эффективная доза согласно «старому» и «новому» спектрам действия (26, 27) — соответственно 6,1 и 45,0. Проведенные оценки свидетельствуют, что вклад УФ-А в полную биологически эффективную дозу, определенную для морфобиологических и ростовых показателей растений, может составлять более 80 % (30).

Отметим, что исследования, выполненные в конце 1990-х годов, базировались на предположении о том, что негативные последствия исто-

Обратим внимание на то обстоятельство, что биологически эффективные дозы, определенные с использованием разных спектров действия, не могут сопоставляться друг с другом, так как характеризуют неодинаковые биологические эффекты.

Биологически эффективные дозы, полученные для заданного биологического проявления, позволяют сравнивать степень радиационного воздействия по величине именно этого эффекта, то есть определять зависимости доза—эффект как для

шения озонового слоя для растений главным образом связаны с воздействием УФ-В-радиации. В 1980-1990-е годы под руководством Института медико-биологических проблем РАН в ряде научно-исследовательских учреждений РАН, Росгидромета и РАСХН (в том числе во Всероссийском НИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии) были проведены комплексные исследования эффекта УФ-В-излучения на сельскохозяйственные культуры. На растениях ячменя сортов Белогорский, Нутанс 027, Каскад и Джау-Кабутак было установлено существенное снижение урожайности при моделировании истощения озона на величину от 12 до 38 % (3). Наиболее чувствительным к УФ-воздействию оказался сорт Белогорский, для которого потери урожая доходили до 50 % при моделируемом истощении озона на 38 %. Из других сельскохозяйственных культур (хлопчатник, картофель, соя, кормовая свекла, репчатый лук, красный перец) наибольшие потери урожая (49 %) отмечали у кормовой свеклы при моделировании 40 % истощения озона (3, 31, 32). Основная часть экспериментов при этом выполнялась с использованием искусственных источников УФ-излучения, моделирующих снижение озона в соответствии со «старым» спектром биологического действия (26). Однако реальное истощение при моделировании было гораздо меньше: если использовать «старый» спектр для настройки ламп на 30 % снижения содержания озона, то с учетом вклада УФ-А-области согласно «новому» спектру результирующее снижение будет соответствовать только 8 % (7). Отмеченное обстоятельство требует пересмотра части ранее полученных данных и более строгой постановки экспериментов с использованием ламповых систем в дальнейшем. По всей видимости, самого пристального внимания заслуживают наиболее пессимистические оценки последствий истощения озона для растениеводства, полученные в рамках комплексного эксперимента 1980-1990 годов. Убыль стратосферного озона в Арктике весной 2011 года, впервые зарегистрированная в таких масштабах, и возможность усиления ультрафиолетовой радиации, отмеченные в пресс-релизе Всемирной метеорологической организации (World Meteorology Organization, Женева) (2), могут стать причиной повышения риска земледелия в северных районах Российской Федерации. Представленная информация также показывает, насколько важна методология экспериментального моделирования ультрафиолетового воздействия для оценки ущерба в растениеводстве, связанного с истощением слоя стратосферного озона.

Один из важнейших показателей биологического действия УФ-излучения — мутагенная активность. Спектры биологического действия на ДНК клеток растительных тканей изучались в полевых условиях на экспериментальной территории в Южной Аргентине, над которой прошла Антарктическая «озоновая дыра», изменившая спектр солнечной радиации. Изучение повреждений ДНК позволило предположить, что вклад УФ-А в генетические повреждения по сравнению с УФ-В незначителен (33).

В полевых экспериментах показано, что аккумуляция фенольных соединений у выращенной сои значительно усиливалось за счет солнечной УФ-В-радиации, в то время как влияние УФ-А компоненты было небольшим (34). Отмеченное обстоятельство, по всей видимости, позволяет использовать ранее полученные спектры действия для описываемой реакции растений на УФ-излучение (35).

Рост растений — это комплексная реакция, отражающая влияние многих факторов окружающей среды, включая УФ-В и УФ-А, на ряд физиологических процессов. Следует акцентировать внимание на том, что «новый» спектр действия, который описывает зависимость угнетения рос-

та растений от длины волны, может не подходить для других спектральных реакций. Форма спектра действия для разных специфических процессов будет зависеть от конкретных участвующих в поглощении ультрафиолета хромофоров и, помимо прочего, оптического экранирования этих хромофоров окружающими молекулами и клеточными структурами.

В настоящее время изучению и практическому использованию спектров биологического действия УФ-излучения уделяют исключительное внимание. Согласно рекомендациям Международной комиссии по освещению (Commission Internationale de l'Eclairage — CIE), спектральная чувствительность детектора при измерениях биологически эффективных доз должна соответствовать зависимости реакции биологических тканей от длины волны УФ-радиации (25, 36). Таким образом, требуются детальный анализ и уточнение ранее полученных полихроматических спектров биологического действия (35) с учетом влияния УФ-А-области. Работ по определению соответствующих взвешивающих функций для специфических реакций у растений выполнено пока что недостаточно.

Итак, методология экспериментального моделирования воздействия ультрафиолетового излучения (УФИ) при оценке ущерба для растениеводства, связанного с истощением слоя стратосферного озона, имеет исключительно важное значение и требует дальнейшего совершенствования. Образовавшаяся в Арктике весной 2011 года «озоновая дыра» может усилить УФИ, что способно оказать негативное влияние на сельскохозяйственные культуры в северных районах Российской Федерации. Точность прогноза потерь урожая сельскохозяйственных культур в зависимости от спектральных характеристик ультрафиолетовой радиации во многом зависит от достоверности определения взаимосвязанных дозиметрических и биологических показателей эффекта УФ-излучения на сельскохозяйственные культуры с учетом модифицирующего влияния других агроклиматических факторов, что требует расширения проводимых исследований.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Holmes M.G. Action spectra for UV-B effects on plants monochromatic and polychromatic approaches for analyzing plant responses. In: Plants and UV-B responses to environmental change. Cambridge University Press, 1997: 31-50.
2. Небывалая убыль стратосферного озона в Арктике весной 2011 года. World Meteorology Organization. Press release. ВМО № 912. Женева. 5 апреля 2011 года.
3. Стржижовский А.Д. Влияние ультрафиолетовой радиации повышенной интенсивности на растения: вероятные последствия разрушения стратосферного озона. Радиационная биология. Радиоэкология, 1999, 39(6): 683-692.
4. Sharma R. Impact of solar UV-B on tropical ecosystems and agriculture. Case study: Effect on UV-B on rice. Proc. Nat. Acad. Sci. India, 2001, 1: 92-101.
5. Caldwell M.M. Solar ultraviolet radiation as ecological factor for alpin plants. Ecological monographs. Duke University, Durham, North Carolina, 1966, 38(3): 243-268.
6. Kakani V.G., Reddy K.R., Zhao D., Salaja K. Field crop responses to ultraviolet-B radiation: a review. Agricultural and Forest Meteorology, 2003, 120: 191-218.
7. Caldwell M.M., Ballare C.L., Bornman J.F., Flint S.D., Bjorn L.O., Teramura A.H., Kulandaivelu G., Tevini M. Terrestrial ecosystems increased solar radiation and interactions with other climatic factors. Photochem. Photobiol. Sci., 2003, 2: 29-38.
8. Дмитриев О.П., Поляковский С.О. УФ-В радиация и растения. Вестник Харьковского национального аграрного университета, 2007, 1(10): 7-23.
9. Войтович Н.В., Козьмин Г.В., Ипатова А.Г. Перспективы использования физических факторов в сельском хозяйстве. М., 1995.
10. Кондратьева Н.П. Повышение эффективности электрооблучения растений в защищенном грунте. Докт. дис. М., 2003.
11. Курочкина О.А. Предпосевная обработка семян яровой пшеницы ультрафиолетовыми лучами. Канд. дис. Курган, 2009.
12. Hunt J.E., McNeil D.L. The influence of present day levels of ultraviolet-B radiation

- on seedlings of two southern hemisphere temperate tree species. *Plant Ecol.*, 1999, 143: 39-50.
13. Mazza C.A., Batista D., Zima A.M., Szwarcberg-Bracchitta M., Giordano C.V., Acevedo A., Scopel A.L., Ballare C.L. The effects of solar ultraviolet-B radiation on the growth and yield of barley are accompanied by increased DNA damage and antioxidant responses. *Plant Cell Environ.*, 1999, 22: 61-70.
 14. Murali N.S., Teramura A.H., Randal S.K. Responses differences between two soybean cultivars with contrasting UV radiation sensitivities. *Photochem. Photobiol.*, 1988, 47: 1-5.
 15. Caldwell M.M., Teramura A.H., Tevini M., Boman J.F., Bjorn L.O., Kulandaivelu G. Effects of increased solar ultraviolet radiation on terrestrial plants. *Ambio*, 1995, 24: 166-173.
 16. Бычковская Н.Ю. Действие УФ радиации зоны В (280-320 нм) на клетки и ткани листьев *Phaseolus vulgaris* L. на ранних этапах онтогенеза. Автореф. канд. дис. СПб, 1991.
 17. Худжаназарова Г.С. Действие ультрафиолетовой радиации на ростовые процессы и анатомическое строение листьев растений. Канд. дис. Душанбе, 2006.
 18. Ballare C.L., Rouseaux M.C., Searles P.S., Zaller J.G., Giordano C.V., Robson T.M., Caldwell M.M., Sala O.E., Scopel A.L. Impacts of solar ultraviolet-B radiation on terrestrial ecosystems of Tierra del Fuego Southern Argentina. An overview of recent progress. *J. Photochem. Photobiol.*, B, 2001, 62: 67-77.
 19. Day T.A., Ruhland C.T., Xiong F.S. Influence of solar ultraviolet-B radiation on Antarctic terrestrial plants: results from a four year field study. *J. Photochem. Photobiol.*, B, 2001, 62: 78-87.
 20. Шульгин И.А., Забиров Р.Г., Щербина И.П., Толибеков Д.Т. О роли ультрафиолетовой радиации высокогорных районов в строении побега и продуктивности пшеницы. *Биологические науки*, 1990, 7: 107-118.
 21. Green A., Gross K.K., Smith L.A. Improved analytical characterization of ultraviolet skylight. *Photochem. Photobiol.*, 1980, 31(1): 59-65.
 22. Кравец Е.А., Гродзинский Д.М., Гуща Н.И. Влияние УФ-В облучения на репродуктивную функцию растений *Hordeum vulgare* L. *Цитология и генетика*, 2008, 5: 9-15.
 23. Жалилова Ф.Х., Ракитина Т.Л., Леасов П.В., Кефели В.И. Действие ультрафиолетовой радиации (УФ-Б) на рост и выделение этилена из трех генетических линий *Arabidopsis thaliana*. *Физиология растений*, 1993, 40(8): 764-769.
 24. Лапшин П.В., Трошенкова Н.В., Дубравина Г.А., Загоскина Н.В., Бутенко Р.Г. Морфофизиологические характеристики каллусных культур пшеницы, устойчивых к действию УФ-В радиации (2002). <http://www.lapshin.org/science/sb-tcxa.htm>.
 25. Контроль физических факторов окружающей среды, опасных для человека /Под ред. В.Н. Крутикова, Ю.И. Брегадзе, А.Б. Круглова. М., 2003.
 26. Caldwell M.M. *Photophysiology*. V. 6. Academic Press, N.Y., 1971: 131-177.
 27. Flint S.D., Caldwell M.M. A biological weighting functions for ozone depletion research with higher plants. *Physiol. Plantarum*, 2003, 117: 137-144.
 28. Sobolewski P., Krzyscin J. Reconstruction of the UV-time series weighted for the plant action spectrum based on the UV and total ozone data collected at Belsk Poland in period 1992-2003. In: *Cell biology and instrumentation: UV radiation, nitric oxide and cell death in plants* /Y. Blume, D.J. Durzan, P. Smertenko (eds.). IOS Press, Amsterdam, Berlin, Oxford, Tokyo, Washington D.C. (published in cooperation with NATO Public Diplomacy Division), 2006: 67-73.
 29. Flint S.D., Caldwell M.M. Field testing of UV biological spectral weighting functions for higher plants. *Physiol. Plantarum*, 2003, 117: 145-153.
 30. Ziroly G. Effects of UV radiation on plants. Institute of Biometeorology, National Research Council of Italy, Florence (Lecture at the COST 726. Training School). Wien, 2008.
 31. Зяблицкая Е.Я., Козьмин Г.В., Симоненкова Е.Д., Зейналов А.А., Толстиков Ю.В. Влияние хронического УФ-облучения зоны В на рост, развитие и продуктивность кормовой свеклы. *Космическая биология и авиакосмическая медицина*, 1991, 4: 23-25.
 32. Зяблицкая Е.Я., Козьмин Г.В., Паршиков В.В., Белова Н.В., Симоненкова Е.Д., Лой Н.Н., Свириденко Д.Г. Влияние повышенных уровней УФ-В радиации на отдельные компоненты агрофитоценоза. *Радиационная биология. Радиоэкология*, 1997, 37(1): 117-123.
 33. Rouseaux M.C., Ballare C.L., Giordano C.V., Scopel A.L., Zima A.M., Szwarcberg-Bracchitta M., Searles P.S., Caldwell M.M., Diaz S.B. Ozone depletion and UVB radiation: Impact on plant DNA damage in southern South America. *PNAS*, 1999, 96: 15310-15315.
 34. Mazza C.A., Voccalandro H.E., Giordano C.V., Battista D., Scopel A.L., Ballare C.L. Functional significance and induction by solar radiation of ultraviolet-absorbing sunscreens in field-grown soybean crops. *Plant Physiol.*, 2000, 122: 117-126.
 35. Caldwell M.M., Flint S.D. Lighting considerations in controlled environments for nonphotosynthetic plant responses to blue and ultraviolet radiation. *Proc. Int. lighting in con-*

trolled environments workshop /T.W. Tibbitts (ed.). National Aeronautics and Space Administration, Ames Research Station, Moffett Field, CA, 1994: 113-124.

36. А р т ю к о в И. Детекторы ультрафиолетового излучения. Фотоника. Оптоэлектронные приборы, 2008, 5: 26-33.

ГНУ Всероссийский НИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии Россельхозакадемии,
249030 Калужская обл., г. Обнинск, Киевское ш., 1,
e-mail: kozmin@obninsk.ru

Поступила в редакцию
26 сентября 2011 года

ACTUAL PROBLEM OF ESTIMATION OF CONSEQUENCES OF ATMOSPHERIC OZONE DEPLETION FOR CROP PRODUCTION

(review)

G.V. Koz'min, K.V. Manin, T.V. Chizh

S u m m a r y

An overview is presented of current approaches to the study of biological effect of ultra-violet (UV) radiation for estimation of consequences of stratospheric ozone depletion and the use of artificial UV-radiation source in crop production. The authors showed the necessity of partial revision of previously obtained data and more exacting experiments with the use of tube devices simulated UV-effect during depletion of stratospheric ozone. Unprecedented decrease of stratospheric ozone in the Arctic in spring 2011 year permits to speak about a topicality of investigations on estimation of consequences of ozone depletion for crop production of northern regions of Russian Federation.

Научные собрания

VI НАУЧНАЯ ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕНЕТИКЕ «ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕНЕТИКА ПОПУЛЯЦИЙ»

(г. Санкт-Петербург, 16-19 октября 2012 года)



Организаторы: кафедра генетики и селекции Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербургский научный центр РАН, Санкт-Петербургский филиал Института общей генетики РАН, Вавиловское общество генетиков и селекционеров, Российский фонд фундаментальных исследований, Российская академия сельскохозяйственных наук и Российская академия медицинских наук.

Тематика:

- Экологическая генетика и эволюция
- Популяционная генетика растений и надвидовых систем
- Генетические процессы в популяциях животных
- Популяционная генетика и экогенетические болезни человека

По окончании работы слушателям Школы будут выданы сертификаты и материалы с тезисами лекций, которые прочитают ведущие ученые страны.

Место проведения: Санкт-Петербургский государственный университет (г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9) и Санкт-Петербургский научный центр РАН (г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 5).

По вопросам регистрации следует обращаться в оргкомитет школы: school_2012@list.ru.

Контакты и информация: school_2012@list.ru, <http://www.ecolgenet.ru>

XIX ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ», посвященная 50-летию Института биологии Коми НЦ УрО РАН

(г. Сыктывкар, 2-6 апреля 2012 года)

Основные направления работы конференции, которая была организована Советом молодых ученых Института биологии Коми НЦ УрО РАН, — изучение, охрана и рациональное использование растительного и животного мира; структурно-функциональная организация и антропогенная трансформация экосистем; радиационная биология, генетика; влияние факторов физико-химической природы на организм; физиология, биохимия и биотехнология растений и микроорганизмов.

Контакты и информация: <http://ib.komisc.ru/sovet>