

В.С. Райда, А.Е. Иваницкий, А.В. Бушков¹, А.И. Федоров², Г.А. Толстик³

Определение вклада УФ-возбуждаемой люминесцентной составляющей светокорректирующих полимерных пленок в проходящее через них солнечное излучение

Институт химии нефти СО РАН, г. Томск

¹ *ОАО «Томский нефтехимический завод»*

² *Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск*

³ *Новосибирский институт органической химии СО РАН*

Поступила в редакцию 17.12.2003 г.

Проведено определение вклада красной люминесцентной составляющей в излучение Солнца, проходящее через светокорректирующие полиэтиленовые пленки с добавками 0,05–5% мас. фотолюминофоров на основе органических и неорганических соединений европия.

Исследования в этом направлении связаны с изучением факторов, определяющих значительное увеличение хозяйственной продуктивности растений при выращивании под такими пленками в условиях закрытого грунта («полисветановый» эффект). Данные, полученные на основании спектров пропускания и отражения излучения солнца светокорректирующими пленками и исходными дисперсными фотолюминофорами, показывают, что вклад люминесцентного излучения в области около 600 нм составляет 0,01–0,1% или 0,004–0,39 Вт/м². При этом изменения пропускания светокорректирующими пленками электромагнитного излучения той же области спектра за счет неконтролируемого отражения и рассеяния на 2–3 порядка больше вклада люминесцентной составляющей.

Полученные данные не подтверждают имеющиеся в настоящее время гипотезы, объясняющие наличие «полисветанового» эффекта действием фитохромного механизма растений за счет увеличения доли красной составляющей в спектре пропускания пленками электромагнитного излучения солнца. «Полисветановый» эффект может быть примером низкоэнергетической фотолюминесцентной биостимуляции, аналогичным известной в настоящее время низкоэнергетической фотондуцированной биостимуляции под действием излучения красной области спектра лазеров и светодиодов.

Исследование изменений спектрального состава излучения солнца, проходящего через полимерные пленки с добавками фотолюминофоров, представляет интерес в связи с изучением факторов, определяющих значительное влияние такого излучения на рост и развитие растений. Такое влияние, сопровождающееся ускорением роста и созревания растений, названное «полисветановым» эффектом [1], широко используется в настоящее время на практике. Полимерные пленки с добавками узкополосных фотолюминофоров красного свечения (светокорректирующие пленки) серийно выпускаются в настоящее время российской промышленностью [2] и широко используются для ограждения сооружений закрытого грунта при выращивании растений в сельском хозяйстве [1–4].

Несмотря на то что высокая эффективность практического применения светокорректирующих полимерных пленок показана достаточно давно, научно обоснованного объяснения природы «полисветанового» эффекта до настоящего времени нет. Это связано, прежде всего, с крайне малым объемом результатов исследования особенностей влияния светокорректирующих пленок на изменение спектрального состава проходящего через них из-

лучения солнца. Этому во многом препятствует многофакторная зависимость изменений спектрального состава от многочисленных и постоянно изменяющихся показателей естественных условий. Такая многофакторная зависимость является препятствием и в изучении факторов, определяющих наличие «полисветанового» эффекта. При этом наиболее важным в определении таких факторов является определение величины вклада УФ-возбуждаемой люминесцентной составляющей в проходящее через светокорректирующие пленки электромагнитное излучение солнца. Кроме того, результаты определения такого показателя типичных светокорректирующих пленок могут позволить реализовать «полисветановый» эффект не в естественных условиях с их большим количеством изменяющихся параметров, а в строго контролируемых лабораторных условиях.

Методики эксперимента

Исследования проведены на примере наиболее типичных для практического применения в качестве ограждения закрытого грунта светокорректирующих пленок — пленок полиэтилена высокого давления

(ПЭВД), модифицированных органическими фотолуминофорами на основе соединений европия. В качестве модифицирующих добавок использованы узкополосные фотолуминофоры красного свечения — комплекса 1,10-фенантролина с нитратом европия (ФЕ) [5] и смесью нитратов европия и лантана (ФЛЕ) [6].

Пленки толщиной 120 мкм изготовлены путем механического смешения 0,05–5,0% мас. порошкообразных добавок фотолуминофоров с гранулами ПЭВД по технологии [7] и последующей экструзии расплава полученной композиции на экструдере с плоскощелевой головкой при температуре 170–200 °С или экструзией с раздувом на пленочной линии УРП-1500 в условиях по ГОСТ 16337.

Изучение особенностей фотофизических свойств пленок, связанных с введением в их состав фотолуминофоров, проведено на сериях образцов толщиной (120 ± 1) мкм, выбранных из партий пленок.

Спектры пропускания пленок получены на спектрометре Uvison 933. Спектры пропускания и отражения пленками солнечного излучения получены на акустооптическом спектрометре «Кварц-3102В» в ясную солнечную погоду по методике [8].

Относительная интенсивность люминесценции светокорректирующих пленок определена с использованием флуориметра со скрещенными фильтрами по методике [9] (источник возбуждающего УФ-излучения — лампа ДДС-30 с фильтром УФС-2, фильтр вторичного излучения — ОС-12).

Результаты и обсуждение

Наиболее просто вклад люминесцентного излучения в проходящее через пленки излучение солнца может быть определен по спектрам пропускания пленок с содержанием люминофоров 0,03–0,2% мас. [8], типичным для применяющихся на практике светокорректирующих пленок (рис. 1).

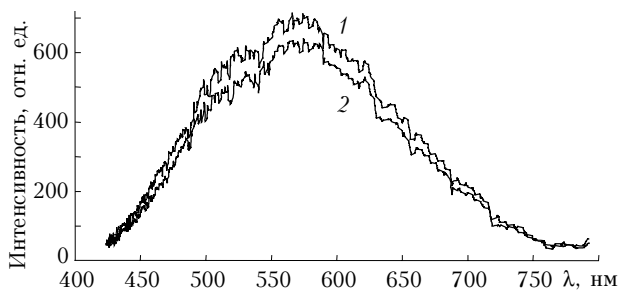


Рис. 1. Не исправленные по спектральной чувствительности фотоприемника спектры солнечного излучения (1) и излучения, прошедшего через пленку, с содержанием 0,1% мас. люминофора ФЕ (2)

Однако вклад люминесцентного излучения не может быть достаточно надежно определен по таким спектрам в связи с крайне низкой интенсивностью люминесцентного излучения, возбуждаемого УФ-излучением солнца, на фоне интенсивного линейчатого спектра солнечного излучения. Такие спектры позволяют рассчитать только суммарные коэффициенты пропускания светокорректирующими пленками солнечного света.

В целом детальное определение спектрального состава электромагнитного излучения солнца, проходящего через светокорректирующие пленки в естественных условиях, в том числе и интенсивности люминесцентного излучения, по таким спектрам пропускания представляет значительную сложность в связи с наличием большого количества переменных факторов, определяющих интегральные показатели.

Эти факторы могут быть условно подразделены на две группы.

К первой группе можно отнести факторы, связанные с временными изменениями спектрального состава и интенсивности базового солнечного излучения, попадающего на светокорректирующие пленки. Такие параметры излучения изменяются в широких пределах в зависимости от времени года и суток, конкретных метеорологических условий, экологической обстановки и многих других факторов [10]. Кардинальные изменения такие факторы вызывают в спектральном составе и интенсивности коротковолновой составляющей и прежде всего УФ-диапазона [11], — интенсивность УФ-излучения только в течение светового дня изменяется более чем в 300 раз. В то же время УФ-составляющая солнечного излучения возбуждает люминесценцию фотолуминофоров в светокорректирующих пленках и определяет показатели их люминесцентных свойств в целом. В связи с этим результаты, полученные в разных условиях проведения эксперимента, могут быть не сопоставимы.

Ко второй группе могут быть отнесены факторы, связанные со свойствами пленок, определяемыми особенностью свойств самого исходного материала — полиэтилена высокого давления. ПЭВД является кристаллическим полимером, степень кристалличности материала, форма и расположение кристаллов, состояние поверхности пленок оказывают значительное влияние на их оптические свойства и определяются, в свою очередь, особенностями технологии получения исходного базового полимера и переработки его в пленку. Такие различия оптических свойств не модифицированных пленок ПЭВД приводят к практически непредсказуемому изменению коэффициентов пропускания ими электромагнитного излучения УФ и видимого диапазонов в широком интервале (от 0,6 до 0,95) [12, 13], изменению на десятки процентов доли прямого и рассеянного излучения. Такие факторы также вносят значительную погрешность в определение закономерных изменений спектрального состава проходящего через светокорректирующие пленки электромагнитного излучения солнца, связанными с введением в их состав фотолуминофоров.

Наиболее просто избежать влияния большинства описанных факторов позволяет получение спектральных характеристик для серии светокорректирующих пленок, изготовленных из ПЭВД одной партии по одной технологии, на одном оборудовании в строго одинаковых условиях, отличающихся количеством введенных добавок. При этом снятие спектров пропускания солнечного из-

лучения одной серии пленок необходимо проводить в один день в околополуденное время с максимальной интенсивностью УФ-излучения за максимально короткий срок (не более 1 ч для всей серии).

В результате использования таких приемов установлено, что для достоверного определения интенсивности люминесцентного излучения светокорректирующих пленок необходимо повышение в них содержания люминофоров в 10–50 раз по сравнению с содержанием, типичным для практического использования вплоть до 5,0% мас. На спектрах пропускания такими светокорректирующими пленками солнечного излучения может быть уверенно зафиксировано наличие полос люминесцентного излучения в области 617 нм (рис. 2).

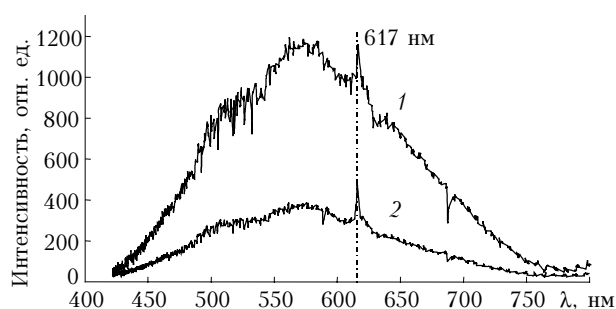


Рис. 2. Не исправленные по спектральной чувствительности фотоприемника спектры солнечного излучения, прошедшего через пленку ПЭВД с добавкой 5% мас. люминофора ФЛЕ (1) и отраженного пленкой ПЭВД с добавкой 3% мас. люминофора ФЛЕ (2)

Это позволяет провести достоверный расчет интенсивности люминесцентного излучения фотолюминофоров в пленках при возбуждении УФ-излучением солнца путем отнесения площади сигнала к общей площади под спектром пропускания, соответствующей области фотосинтетически активной радиации (ФАР) – 380–710 нм.

Однако использование для этой цели не исправленных по спектральной чувствительности спектрометра спектров здесь даст завышенный результат. Это связано с низкой спектральной чувствительностью используемого спектрометра «Кварц-3102В» в области коротковолнового (около 400 нм) и длинноволнового (около 700 нм) излучения и макси-

мальной спектральной чувствительностью в области люминесцентного излучения (рис. 3). В связи с этим рассчитан поправочный коэффициент, учитывающий различие площади спектра солнечного излучения, полученного на приборе «Кварц-3102В» и соответствующего области ФАР спектра суммарной солнечной радиации [10].

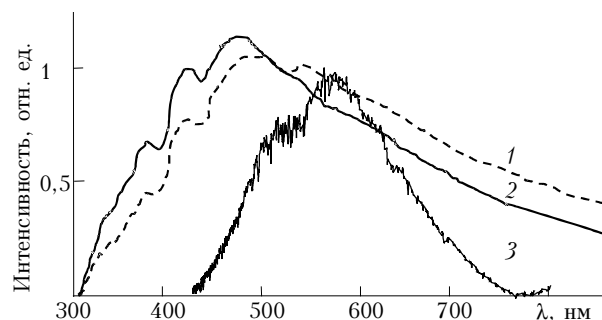


Рис. 3. Распределение энергии в солнечном спектре: суммарной (1), рассеянной (2) радиации (безоблачное небо); в спектре, полученном на спектрометре «Кварц-3102В» (3)

Результаты определения вклада люминесцентного излучения, полученные по спектрам пропускания светокорректирующими пленками с добавками люминофора ФЛЕ солнечного излучения, с учетом поправочного коэффициента 1,75 (табл. 1), показывают, что такой вклад очень не значителен даже в условиях максимальной интенсивности УФ-излучения. Для пленок с содержанием люминофора ФЛЕ до 1% мас. в ясный солнечный день в полуденное время для условия суммарной солнечной радиации в области ФАР 214 Вт/м² и интенсивности УФ-составляющей 18 Вт/м² он равен сотым долям Вт/м². Увеличение содержания люминофора до 5% мас. приводит к закономерному увеличению вклада до десятых долей Вт/м².

Определение суммарной интенсивности люминесцентного излучения, возбуждаемого солнечным излучением, позволяет рассчитать удельный вклад люминесцентного излучения люминофора светокорректирующей пленки – вклад при интенсивности люминесценции в 1 отн. ед. (см. табл. 1). Такой удельный вклад по величине близок для всех пленок, кроме № 2 в табл. 1, с содержанием люминофора 0,5% мас.

Таблица 1

Результаты определения вклада люминесцентной составляющей в излучение солнца, проходящее через светокорректирующие пленки с добавками люминофора ФЛЕ

№ пленки	Содержание ФЛЕ в пленке, % мас.	Интенсивность люминесценции пленки, отн. ед.	Вклад, определенный по спектрам пропускания		Вклад, определенный по спектрам отражения	
			Вт/м ²	удельный, Вт/м ² на 1 единицу интенсивности люминесцентного излучения	Вт/м ²	удельный, Вт/м ² на 1 единицу интенсивности люминесцентного излучения
1	0,1	6,1	0,007*	—	0,01*	—
2	0,5	38,5	0,03	0,0008	0,06	0,0016
3	1,0	66,7	0,08	0,0012	0,10	0,0015
4	2,0	89,7	0,12	0,0013	0,15	0,0017
5	3,0	115,4	0,14	0,0012	0,18	0,0016
6	5,0	141,0	0,19	0,0013	0,22	0,0016

* Рассчитано по интенсивности люминесценции и удельному вкладу люминесцентного излучения.

Это может служить указанием на недостаточную точность определения показателя для данной пленки, связанную с довольно низкой интенсивностью ее люминесценции и невозможностью точного расчета величины площади, соответствующей полосе люминесцентного излучения, соизмеримой с уровнем фоновых «шумов» в спектре. Увеличение содержания люминофора в пленках и, соответственно, интенсивности их люминесценции позволяет надежно определять показатель.

Полученные значения удельного вклада позволяют проводить расчет суммарной интенсивности люминесценции пленок с практически любым, даже очень незначительным, содержанием люминофора по значению их относительной интенсивности люминесценции, измеренной в одинаковых условиях по описанной выше методике. Для наиболее типичной пленки с содержанием люминофора ФЛЕ 0,1% мас. и конкретных метеоусловий эксперимента такой вклад составляет около 0,01 Вт/м² (пленка № 1 в табл. 1). Следует отметить, что приведение величины интенсивности вклада люминесцентного излучения до третьего, четвертого знаков сделано для иллюстрации порядка закономерных изменений величин, определяющихся изменением состава светокорректирующих пленок. Такие результаты могут быть получены только при условии выполнения указанных выше условий – снятия спектров в ясный, солнечный день. Изменяющаяся за счет облачности светимость неба, близкая по интенсивности к суммарной радиации (см. рис. 3), приводит к быстрым и значительным изменениям спектрального состава регистрируемого излучения.

Такой же результат дают попытки определения интенсивности люминесцентного излучения в непосредственной близости от растительного сообщества. Незначительные колебания воздуха приводят в движение листья, отражающие около 20% падающего на них излучения, что приводит к хаотическому и непрерывному изменению спектрального состава базового излучения и повышению уровня фоновых «шумов» в спектрах до уровня выше величины определяемых показателей. Для реальных условий эксплуатации типичных светокорректирующих пленок в качестве ограждения закрытого

грунта интенсивность их люминесцентного излучения значительно меньше уровня «шумов» – непрерывных и хаотических изменений спектрального состава излучения солнца за счет многочисленных факторов, особенно при незначительной интенсивности УФ-излучения – в утренние и вечерние часы и при высокой облачности.

Точность экспериментального определения интенсивности люминесцентного излучения светокорректирующих пленок может быть повышена с использованием спектров отражения ими излучения солнца. При рассмотрении частиц люминофора в пленках как точечных источников излучения со сферической индикатрисой мощности интенсивности люминесцентного излучения над и под освещаемыми пленками должны быть близки по величине. В этом случае удельный вклад излучения в отражаемое пленками излучение (около 10%) должен быть значительно выше, чем в проходящее (около 90%). Действительно, относительная интенсивность полос в спектре отражения пленками солнечного излучения, соответствующих люминесцентному излучению, значительно выше, чем в спектрах пропускания при прочих равных условиях (см. рис. 2).

Рассчитанные по таким спектрам величины вклада люминесцентного излучения больше на 22%, чем найденные по спектрам пропускания. К завышению результата приводят сложность определения коэффициентов рассеяния пленками отражаемого излучения и проведение в связи с этим расчета интенсивности отражаемого пленками излучения Солнца по модели зеркального отражения излучения. Использование спектров отражения позволяет повысить точность экспериментального определения величин, о чем говорит хорошее соответствие величин удельного вклада для пленки с 0,5% мас. люминофора показателям остальных пленок (см. табл. 1).

Величина удельного вклада здесь также позволяет рассчитать суммарную интенсивность люминесцентного излучения пленок с любым содержанием люминофора. С учетом рассеяния пленками отраженного излучения (коэффициент отражения 0,78) величины полностью соответствуют найденным по спектрам пропускания (табл. 2).

Таблица 2

Результаты определения вклада люминесцентной составляющей в излучение солнца, проходящее через светокорректирующие пленки с добавками люминофора ФЕ

№ пленки	Содержание люминофора, % мас.	Интенсивность люминесценции, отн. ед.	Интенсивность люминесцентного излучения, Вт/м ² , определенная		
			по спектрам пропускания	по спектрам отражения	
				неисправленным	исправленным по коэффициенту отражения
1	0,03	41,0	0,007*	0,009*	0,007
2	0,05	74,5	0,012*	0,016*	0,012
3	0,1	104,8	0,017*	0,023*	0,018
4	0,3	140,0	0,023*	0,031*	0,024
5	0,5	210,0	0,037	0,047	0,037

* Рассчитано по интенсивности люминесценции.

Представленные выше результаты определения вклада люминесцентного излучения пленок с добавками люминофора ФЛЕ показывают возможность достаточно точной экстраполяции экспериментально найденных для пленок с высоким содержанием люминофоров величин вклада люминесцентного излучения на пленки с известной величиной относительной интенсивности люминесценции. Это позволяет рассчитывать величины вклада для пленок с наиболее типичным для практического применения содержанием фотолуминофоров.

Такой расчет вклада люминесцентного излучения в проходящее через пленки солнечное излучение проведен для пленок с люминофором ФЕ. На основании экспериментально определенного вклада люминесцентного излучения в проходящее излучение солнца для пленки с содержанием люминофора ФЕ 0,5% мас. проведен указанный выше расчет для пленок с содержанием люминофора 0,05–0,3% мас. (результаты в табл. 2).

Удельный вклад люминесцентного излучения, отнесенный к значению относительной интенсивности люминесценции пленок в 1 отн. ед., рассчитанный по образцу № 5 в табл. 2, равен 0,00018 и 0,00023 Вт/м² соответственно для спектров пропускания и отражения. Превышение результатов, полученных по спектрам отражения пленками солнечного излучения над полученными по спектрам пропускания, как и для пленок с люминофором ФЛЕ, составляет 22%. Введение в расчеты коэффициента отражения пленками излучения солнца в использованной методике измерения, равного 0,78, дает хорошее соответствие результатов, полученных по спектрам пропускания и отражения (см. табл. 2).

Полученные значения вклада люминесцентного излучения пленок в проходящее через них излучение солнца являются практически калибровочным графиком и позволяют в дальнейшем определять показатель максимального вклада для пленок с исследованными люминофорами по значению их относительной интенсивности люминесценции без снятия спектров пропускания или отражения ими излучения солнца. Однако эти результаты не являются универсальными и могут быть отнесены только к конкретным по интенсивности ФАР и УФ-излучения метеоусловиям во время проведения эксперимента. Для получения более универсальных результатов необходимо согласование результатов, полученных в разных, значительно различающихся условиях. Одним из наиболее простых способов сопоставления результатов, полученных на основании спектров разных серий пленок, снятых в разных условиях, может быть использование в каждой серии одной и той же пленки с одинаковыми флуоресцентными свойствами и отнесение к ее свойствам аналогичных свойств пленок других серий — получение относительных результатов с использованием стандарта. Этому препятствуют сложность в точном воспроизведении фотофизических свойств пленок даже одного состава в разных сериях [14] и значительные изменения их флуоресцентных свойств при хранении в лабораторных условиях.

Так, относительная интенсивность свежеприготовленной пленки, содержащей 2% мас. люминофора ФЕ, составляла 240 отн. ед. Вклад люминесцентного излучения в проходящее через нее излучение солнца области ФАР, определенный 04.08.02 г. (спектр 2 на рис. 4), равнялся 0,18 Вт/м². Хранение пленки в лабораторных условиях привело к снижению интенсивности ее люминесценции до 91 отн. ед., и вклад люминесцентного излучения, определенный 23.05.03 г., составил 0,19 Вт/м².

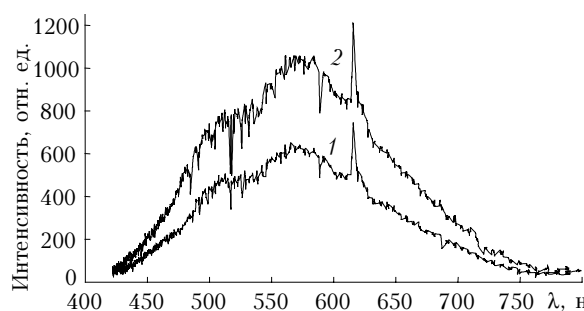


Рис. 4. Не исправленные по спектральной чувствительности фотоприемника спектры пропускания излучения солнца пленкой с добавкой 2% мас. люминофора ФЕ: свежеприготовленной пленкой 04.08.2002 г. (2); идентичной пленкой, но после хранения в течение года, 04.05.2003 г. (1)

Сопоставлять результаты, полученные в разных условиях для пленок с разным значением относительной интенсивности люминесценции, может позволить отнесение указанного выше удельного вклада пленок с интенсивностью люминесцентного излучения 1 отн. ед. к интенсивности возбуждающего УФ-излучения солнца 1 Вт/м². При интенсивности УФ-излучения солнца в условиях эксперимента 3,5 и 18,4 Вт/м² соответственно для условий 2002 и 2003 гг. такой показатель для пленок с люминофором ФЛЕ составляет $K_{уд} = 6,8 \cdot 10^{-5}$, для пленок с люминофором ФЕ — $K_{уд} = 5,2 \cdot 10^{-5}$ — близкие значения показателей.

Использование такого удельного коэффициента, равного вкладу (в Вт/м²) люминесцентного излучения условной пленки со значением интенсивности люминесценции 1 отн. ед. при возбуждении УФ-излучением солнца интенсивностью 1 Вт/м², позволяет легко оценить величину вклада для пленок с любым значением относительной интенсивности люминесценции для каждого конкретного значения интенсивности УФ-излучения солнца без снятия соответствующих спектров и проведения расчетов.

Полученные по спектрам пропускания и отражения пленками значения одного порядка с значениями того же показателя, рассчитанного по интенсивности поглощаемого аналогичными пленками УФ-излучения [8], и могут служить мерой максимально возможного вклада люминесцентного излучения в проходящее через них солнечное излучение.

Полученные результаты указывают на отсутствие интегральных закономерных изменений спектрального состава солнечного излучения, проходящего через типичные светокорректирующие пленки

за счет люминесцентной составляющей. Это, в свою очередь, не дает оснований для использования положений современной теории фитохромной фоторегуляции роста и развития растений для объяснения природы «полисветанового» эффекта. Такая система фоторегуляции работает при появлении макроизменений спектрального состава излучения области ФАР, превышающих типичные непрерывные и хаотические изменения за счет большого количества факторов, характерных для естественных условий освещения, в том числе и при изменении спектрального состава ФАР за счет ограждения пленками ПЭВД. Такие изменения спектрального состава ФАР в закрытом грунте, огражденном пленками ПЭВД, достаточно хорошо изучены на протяжении нескольких десятилетий использования пленок ПЭВД [13] и вызывают крайне незначительные изменения продуктивности сельскохозяйственных культур.

Использование светокорректирующих пленок для ограждения закрытого грунта при выращивании растений не сопровождается специфическими по сравнению с не модифицированными пленками ПЭВД интегральными изменениями спектрального состава проходящего через них излучения солнца. Прохождение солнечного излучения через такие пленки сопровождается генерированием фотолюминесцентного излучения интенсивностью от нескольких сотых до нескольких десятитысячных долей Вт/м², даже для условий его максимальной интенсивности. Это на 4–5 порядков меньше интенсивности базового солнечного излучения той же области спектра и на 1–2 порядка меньше типичных «шумов» – указанных выше колебаний его интенсивности.

Таким образом, наблюдаемые под светокорректирующими пленками эффекты значительного ускорения роста и развития растений, увеличения их хозяйственной продуктивности по сравнению с результатами под немодифицированными пленками ПЭВД не могут быть объяснены работой указанной системы фоторегуляции растений за счет изменения спектрального состава ФАР. В то же время отсутствуют какие-либо другие факторы, кроме люминесцентного излучения, отличающие свойства светокорректирующих пленок от аналогичных по технологическим параметрам пленок немодифицированного ПЭВД. Это обстоятельство неизбежно приводит к необходимости объяснения наличия «полисветанового» эффекта действием на растения люминесцентного излучения такой сверхмалой интенсивности и к выводу о наличии у растений наряду с фитохромной фоторегуляторной системой, реагирующей на изменения спектрального состава ФАР, другой системы, основанной на сверхслабых взаимодействиях их с фотолюминесцентным излучением.

По аналогии с широко известным эффектом низкоэнергетической фотоиндуцированной биоактивации под действием лазерного излучения и электролюминесцентного излучения светодиодов красной области спектра [15] «полисветановый» эффект

может быть отнесен к примеру низкоэнергетической фотолюминесцентной биоактивации растений.

Заключение

Проведено определение величины вклада возбуждаемого УФ-излучением солнца люминесцентного излучения в проходящее через светокорректирующие пленки излучение для широкого интервала содержания в них органических фотолуминофоров на основе соединений европия. Для пленок с типичным содержанием люминофоров величина такого вклада определяется большим количеством факторов и составляет около 0,01 Вт/м², что значительно ниже уровня хаотических и непрерывных изменений спектрального состава излучения солнца, вызываемых большим количеством факторов. Закономерные интегральные изменения спектрального состава солнечного излучения, проходящего через типичные светокорректирующие пленки в типичных условиях их эксплуатации, связанные с введением в их состав фотолуминофоров, не обнаружены. Это не позволяет объяснять природу «полисветанового» эффекта с использованием классической теории фоторегуляции. Эффект может быть отнесен к низкоэнергетической фотолюминесцентной биоактивации растений.

Полученные результаты позволяют оценить суммарные дозы люминесцентного излучения, действующего на растения под светокорректирующими пленками, и начать работы по моделированию основных параметров реализации «полисветанового» эффекта, установленных для естественных условий, в более стабильных лабораторных условиях.

1. *Kusnetsov S.I., Leplianin G.V.* «Polisvetan», a high performance material for cladding greenhouses // *Plasticulture*. 1989. V. 3. N 2. С. 66–73.
2. *Райда В.С., Толстиков Г.А.* Проблемы и перспективы производства и применения фотолюминесцирующих полимерных пленок // *Мир теплиц*. 2001. № 7. С. 62–64.
3. *Карасев В.Е.* Полисветаны – новые полимерные светотрансформирующие материалы для сельского хозяйства // *Вестн. ДВО РАН*. 1995. № 2. С. 66–73.
4. *Щелоков Р.Н.* Полисветаны и полисветановый эффект // *Изв. РАН. Сер. хим.* 1996. № 6. С. 50–55.
5. *А.с. СССР № 1381128, МКИ⁶ С 08 К.* Полимерная композиция / *Голодкова Л.Н., Лепяев А.Ф., Дмитриев В.М., Жаворонков И.М., Зискин Г.Н., Измаилов Г.И., Ипполитов К.Г., Карасев В.Е., Карасева Э.Т., Кириленко В.Е., Леплялин Г.В., Муринов Ю.И., Никитин Ю.Е., Троицкая Л.С., Толстиков Г.А., Троицкий Б.Б., Цивадзе А.Ю., Рафиков С.А., Цхакая П.Ш., Щелоков Р.Н.* 1981. *Бюл.* № 10. 15.03.88.
6. 2178429 Россия, МПК 7 С 08 J 23/04. Полимерная композиция / *Минич А.С., Райда В.С., Майер Э.А.*
7. *Райда В.С., Минич А.С., Терентьев В.А., Майер Э.А., Коваль Е.О.* Технология производства светокорректирующих полиэтиленовых пленок для сельского хозяйства // *Хим. пром-сть*. 1999. № 10. С. 56–58.
8. *Райда В.С., Коваль Е.О., Иваницкий А.Е., Андриенко О.С., Толстиков Г.А.* Особенности люминесцентных свойств полиэтиленовых пленок с добавками

- фотоломинофоров на основе соединений европия // Пласт. массы. 2001. № 12. С. 39–41.
9. Минич А.С., Баталов А.П., Райда В.С. Способ измерения интенсивности люминесценции фотокорректирующих полиэтиленовых пленок сельскохозяйственного назначения // Пласт. массы. 1992. № 6. С. 59–60.
 10. Кольцов В.В., Лазарев Д.Н. Суточное изменение спектрального состава естественного излучения в области спектра 0,3–0,6 мкм. Актинометрия и оптика атмосферы: Сб. статей / Под ред. Г.В. Розенберга. М.: Наука, 1964. С. 151–158.
 11. Белинский В.А., Гараджа М.П., Меженная Л.М., Незваль Е.Н. Ультрафиолетовая радиация Солнца и неба. М.: Изд-во МГУ, 1968.
 12. Барашков Н.Н., Сахно Т.В. Оптически прозрачные полимеры и материалы на их основе. М.: Химия, 1992. 80 с.
 13. Такасахи Г. Пленки из полимеров. Л.: Химия, 1971. 152 с.
 14. Райда В.С., Иваницкий А.Е., Майер Э.А., Толстиков Г.А. Особенности пропускания света светокорректирующими пленками ПЭВД с люминофорами на основе комплексных соединений европия // Пласт. массы. 2002. № 12. С. 35–39.
 15. Кару Т.И. Фотобиология низкоинтенсивной лазерной терапии. Итоги науки и техники. Сер. Физ. основы лазерной технологии. ВИНТИ. 1989. Т. 4. С. 44–84.

V.S. Raida, A.E. Ivanitskiy, A.V. Bushkov, A.I. Fedorov, G.A. Tolstikov. Determination of the contribution of UV-excitable luminescent component of light-transforming polymer films to the transmitted solar radiation.

The contribution of red luminescent component to the solar radiation transmitted through the light-transforming polyethylene films with additions of 0.05–5% mass of photoluminophore based on organic and inorganic europium components has been determined.

The development of work in this field is connected with the study of the factors determining a marked increase in the economical productivity of plants when cultivating under coverage by such films («polisvetan» effect). The data obtained based on the spectra of transmission and reflection by the light-transforming films and initial dispersed photoluminophore of solar radiation have shown that the contribution of luminescent radiation in the region near 600 nm is 0.01–0.1% or 0.004–0.39 W/m. In this case the variations of transmission of electromagnetic radiation in the same spectral region by light-transforming films due to uncontrolled reflection and scattering are 2 to 3 orders of magnitude greater than the contribution of the luminescent component.

The data obtained do not verify the available hypotheses explaining the presence of the «polisvetan» effect by the action of the phytochrome mechanism of plants due to the increased portion of red component in the film transmission spectrum of solar electromagnetic radiation. The «polisvetan» effect may be an example of low-energy photoluminescent biostimulation analogous to the known low-energy photoinduced biostimulation under the effect of the red spectral radiation of lasers and LED.