

УДК 633.1:581.08.132

ИЗМЕНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ВИДИМОГО ФОТОСИНТЕЗА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПОД ВЛИЯНИЕМ ОБЛАЧНОСТИ

И. С. ШАТИЛОВ, Л. Г. ЛАРИН, А. Ф. ШАРОВ

(Кафедра растениеводства)

Экспериментальными и расчетными данными подтверждается влияние облачности на фотосинтетическую деятельность листьев зерновых культур, особенно при прохождении облаков нижнего яруса. Показано, что в условиях Подмосковья из-за облачности снижение продуктивности фотосинтеза достигает 30 %.

Солнечная радиация является детерминантой продуктивности растений [9]. В условиях Центрального района Нечерноземной зоны часто под влиянием этого фактора снижается интенсивность фотосинтеза, об этом свидетельствует световая кривая фотосинтеза листьев озимой пшеницы, имеющая линейный характер [5]. Количество приходящей лучистой энергии в естественных условиях зависит от облачности. Довольно большое разнообразие облаков по величине и форме существенно затрудняет возможность количественно выразить это действие [4]. Однако получение такой информации, несомненно, представляет интерес. В научной литературе соответствующие данные, за исключением [10], практически отсутствуют.

Цель нашей работы — показать, как изменяются интенсивность и продуктивность фотосинтеза под влиянием облачности. При этом исходили из того, что облачность прежде всего изменяет условия освещенности растений.

Наблюдения за облачностью выполнялись согласно методике, применяемой на агрометеорологических станциях [4]. Интенсивность фотосинтеза регистрировали на верхних листьях с помощью инфракрасных газоанализаторов ГИП-10.

Погодные условия вегетационных периодов в годы исследований складывались неодинаковые: в 1983 и 1986 гг. было тепло и влажно, в 1984 г. — прохладно и дождливо, 1988 год оказался засушливым. Весна 1985 г. и первая половина лета были прохладные с ливневыми дождями, а июль и особенно август выдались сухими.

Поступление лучистой энергии имеет выраженный суточный, сезонный и годовой ход. Изучение закономерностей прихода

солнечной инсоляции (в дальнейшем радиации) показывает, что по годам его величина колеблется незначительно и в последние десятилетия вследствие загрязнения атмосферы уменьшается [3]. В течение года колебания составляют 30 % [8]. Изменчивость солнечной радиации в суточном ходе различна в зависимости от высоты солнца. Временные колебания интенсивности радиации в несколько часов связаны с движением облаков, а в несколько минут и секунд — с появлением солнечных бликов внутри растительного покрова [2]. Поэтому для анализа результатов использовались срочные измерения (на 15 ч) облачности, прихода фотосинтетически активной радиации (ФАР) и интенсивности видимого фотосинтеза (ВФ).

Предварительный анализ данных (табл. 1) показывает, что увеличение облачности, как правило, приводит к снижению облученности листьев растений и вследствие этого — к уменьшению интенсивности фотосинтеза. Интенсивность усвоения CO_2 при сплошной облачности 10/10 в 5—8 раз ниже, чем в ясные дни, причем наибольшее влияние оказывают облака нижнего яруса (3-го и 4-го класса). Вместе с тем наблюдаются значительные колебания указанных показателей. Это объясняется тем, что фотосинтез — наиболее отзывчивая на внешние воздействия функция растительного организма, а также такими условиями, связанными с облученностью, как температура, степень закрытия солнечного диска, форма и цвет облаков. После лучистой энергии температура — наиболее значимый факт [5], остальные факторы учитываются визуально. Следовательно, располагая вышеуказанными сведениями, при оценке влияния облачности на фотосинтез можно оперировать лишь данными о количестве облаков.

В среднем по культурам общая облачность от 0 до 3 бал. практически не сказывается на величине фотосинтеза, которая достигает 15—16 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2 \cdot \text{ч}$. По мере увеличения облачности до 4—7 бал. его значение начинает постепенно снижаться с 14 до 11 мг, при облачности до 10 бал. показатель уменьшается почти в 2,5 раза (с 10 до 4 мг).

В случае прохождения светлых облаков нижнего яруса при малооблачной погоде (от 0 до 3 бал.) ассимиляция CO_2 снижается с 15 до 11 мг, при умеренной облачности (4—7 бал.) ВФ достигает 8—9 мг, а в дни со значительной и полной облачностью, когда количество облаков превышает 8 бал., усвоение CO_2 резко снижается — с 9 до 4 мг/ $\text{дм}^2 \cdot \text{ч}$. По нашим наблюдениям, в полуденные часы при полной облачности фотосинтез листьев верхнего яруса наблюдается практически всегда, даже в условиях сильного тумана (осень 1987 г.). И лишь при выпадении обильных ливневых осадков фотосинтез не регистрируется. В этот момент поступление солнечной радиации достигает значения светового компенсационного пункта — около 0,1—0,3 Вт/ м^2 . Этот

Таблица 1

Интенсивность видимого фотосинтеза зерновых культур в зависимости от облачности с учетом сопутствующих характеристик внешних условий

Дата	Облачность		ВФ, мг CO ₂ /дм ² .ч	ФАР, Вт/м ²	Температура, °С	Степень закрытия солнечного диска
	Величина, Балл	Форма				
<i>Оз. рожь Чулан, 1983 г.</i>						
1/V	9/5	Ac/Cu cong.	5,0	126,8	10,2	0
7/V	5/5	Ac/Cu floc.	6,3	137,2	13,3	1
8/V	5/3	As/Cu cong.	9,4	160,5	13,2	2
9/V	9/7	As/Cu cong.	10,7	168,6	14,1	П
10/V	9/9	Ac/Cu hum.	4,4	184,9	15,7	П
12/V	6/4	Cs/Cu hum.	15,2	218,6	20,3	0
13/V	4/4	Cs/Cu cong.	13,5	293,0	22,2	1
14/V	3/3	Ac/Cu fr.	16,0	298,9	23,3	2
15/V	5/5	Ac/Cu fr.	14,1	225,6	22,9	1
16/V	10/10	—/St fr.	1,4	89,5	15,2	П
25/V	7/6	Cs/Cu fr.	13,2	—	27,9	0
26/V	8/0	Cs/Cu fr.	14,0	—	18,2	2
29/III	10/10	—/St fr.	8,2	152,3	11,0	П
30/III	10*/6	As/St fr.	10,1	303,5	13,8	П
<i>Оз. пшеница Мироновская 808</i>						
1983 г.						
13/V	5/5	Cs/Cu cong.	9,1	293,1	22,2	1
14/V	4/4	Ac/Cu fr.	13,7	298,9	23,3	2
15/V	5/5	Ac/Cu fr.	12,3	225,6	22,9	1
20/VI	10*/5	As/Sc op.	7,5	229,1	18,8	П
1984 г.						
5/VI	10*/1	Cl/Cu hum.	13,6	389,6	25,3	0
7/VI	9/3	Ac/Cu cong.	7,0	163,9	21,5	П
8/VI	10*/0	Ac/—	4,0	133,7	21,0	0
14/VI	7/4	Ac/Cu med.	11,7	250,0	15,8	1
16/VI	10*/0	Ac/—	5,4	157,0	16,5	0
17/VI	8/7	Ac/Sc trans.	11,7	259,3	16,4	П
18/VI	10*/4	—/Cu cong.	12,0	247,8	15,0	П
19/VI	10*/0	Ac/Cb und.	8,6	247,8	15,6	0
<i>Оз. пшеница Полесская 87, 1988 г.</i>						
11/V	5/0	Cl/—	13,3	360,5	12,7	2
12/V	1/0	Cl/—	14,6	388,4	14,1	2
16/V	8/3	Cl/Cu hum.	8,3	290,7	13,3	2
17/V	0/0	—/—	15,2	397,7	18,1	2
20/V	10*/10*	—/Ns trans.	12,7	217,5	18,1	0
21/V	10*/0	As/—	15,0	302,4	21,9	0
24/V	10*/10*	—/Cb	13,2	293,1	23,7	0
1/VI	8/6	Ac/Cu fr.	8,9	189,6	24,0	1
14/VI	8/8	Cl/Cu fr.	9,1	283,8	18,1	2
16/VI	10/10	—/Ns	5,6	141,9	13,6	П
17/VI	10/10	—/Ns	2,6	75,6	14,0	П
<i>Овес Гамбо, 1986 г.</i>						
3/VI	10*/10*	Cs/Cu hum.	12,2	332,6	26,6	П
9/VI	8/8	Cs/Cu fr.	11,0	334,9	26,0	1
10/VI	8/4	Ac/Cu fr.	8,5	388,4	23,6	П
20/VI	8/8	Ac/Cu med.	2,8	72,1	27,9	П
1/VII	8/8	Ac/Cu med.	15,3	177,9	16,7	0
2/VII	0/0	—/—	17,3	443,1	17,2	2
3/VII	8/8	Cs/Cu hum.	12,2	332,6	19,8	2
7/VII	7/7	Cs/Cu med.	10,1	415,2	28,6	2
9/VII	8/8	Cl/Cu med.	5,7	118,6	24,5	0
10/VII	10/5	As/Cb	4,2	222,1	21,0	П
28/VII	4/4	Cs/Cu trans.	11,7	354,7	18,9	0

Дата	Облачность		ВФ, мг СО ₂ /дм ³ .ч	ФАР, Вт/м ²	Температу- ра, °С	Степень за- крытия сол- нечного дис- ка
	Величи- на, балл	Форма				

1987 г.

28/V	10*/10*	Ac/Sc sp.	6,5	174,4	9,7	1
29/VI	10*/10*	—/Sc trans.	10,4	217,5	15,4	П
14/VII	10*/10*	Ac/Cu fr.	9,3	212,8	18,8	П

Ячень Надя, 1985 г.

2/V	10/10	—/Sc neb.	1,5	26,7	8,6	П
3/V	10*/0	Ac/—	6,1	227,9	18,0	0
4/V	6/0	Cl/—	10,7	355,9	20,2	2
19/VI	0/0	—/—	13,8	435,0	18,1	2
20/VI	10*/7	Ac/Cu cb.	10,6	350,0	20,2	П
25/VI	7/7	Ac/Cu med.	16,7	291,9	23,0	2
26/VI	6/2	Ac/Cu op.	17,4	410,5	21,3	1
1/VII	8/8	Ac/Cu med.	12,4	457,0	18,6	1
10/VII	10*/10*	—/Ns	9,3	333,8	13,8	П
16/VII	0/0	—/—	14,3	516,3	24,4	2

Примечания. 1. В числителе—общая облачность, в знаменателе—нижняя облачность. 2. Здесь и в табл. 2 и 3 звездочкой обозначено наличие просвета в облаках.

Таблица 2

Величина нижней облачности в весенне-летний период (балл)

Дата	Май			Июнь			Июль			Август		
	1983	1984	1985	1983	1984	1985	1983	1984	1985	1983	1984	1985
1	5	0	10	5	0	0	10	0	8	3	10	3
2	9	4	10	6	0	10	1	5	10	6	5	7
3	3	0	0	0	0	5	8	0	2	3	0	7
4	0	0	0	0	0	7	8	0	0	5	3	6
5	0	6	0	0	2	10*	10*	2	8	0	2	0
6	10*	6	0	10*	4	10*	10	0	0	4	0	0
7	5	0	0	10*	3	10	4	2	10*	4	0	0
8	3	0	0	7	0	0	6	0	10	7	0	0
9	7	0	4	3	10	10	3	0	9	3	0	0
10	9	0	0	10	2	10	4	10	10*	0	0	0
11	8	10	0	4	10	10	4	8	10	0	0	10
12	4	10	3	9	0	6	4	0	10	0	0	7
13	4	10	0	5	4	5	2	0	0	10	10*	7
14	3	7	0	4	4	6	6	10	9	6	5	6
15	5	0	4	10	10	6	6	2	9	1	3	7
16	10	0	4	10	0	3	4	0	0	0	0	8
17	0	0	6	0	7	10*	10	3	10*	0	0	8
18	0	10	8	0	4	10*	5	0	0	10	0	5
19	0	0	8	10*	0	0	4	9	0	0	9	7
20	10	10*	0	5	2	7	9	7	0	0	0	0
21	5	7	9	4	7	4	9	0	0	2	0	9
22	0	9	7	3	0	7	5	0	0	3	0	0
23	9	6	10	10	0	6	5	2	10	2	0	10*
24	2	4	7	10	10	8	7	8	10	6	2	7
25	6	1	5	0	10	7	10	8	10	8	2	0
26	0	5	4	10	10	2	5	0	10	10	1	0
27	0	6	0	7	0	10	3	2	2	10*	10*	2
28	3	10	2	4	10*	7	3	6	6	10	10*	3
29	4	10	4	4	6	8	0	10	2	10	10	0
30	0	0	0	6	10*	8	10*	10	0	6	10	6
31	10*	0	0	—	—	—	10*	10	0	0	10*	2
Сумма за месяц	134	131	105	160	125	202	174	114	165	130	102	126

уровень является начальным условием поглощения CO_2 для верхних листьев.

Ассимиляция CO_2 мгновенно адаптируется к изменению облачности, в связи с чем динамика его поглощения идет параллельно суточному ходу ФАР. И только в случае проявления полуденной депрессии (вероятность отмечается в 6—8 %) это совпадение отсутствует. При постоянной смене облаков свет используется более эффективно, чем в дни со сплошной облачностью, что отдаленно напоминает эффект прерывистого света [6] и действие солнечных бликов [7]. Например, в дни с полной облачностью свет используется более эффективно, если имеются просветы в облаках. Аналогичная картина отмечается при использовании показателя продуктивности фотосинтеза. Наблюдения в сезоне 1987 г. показали: 22 июня при общей облачности 10* бал. и поступлении ФАР 527 Дж/см²·дн видимое поглощение CO_2 листьями овса составило 153,6 мг/дм²; 8 июля — соответственно 1126 и 162,3; 14 июля — 766 и 135,5; тогда как 28 июня при отсутствии просветов в облаках приход ФАР составил 640 Дж/см², а усвоение CO_2 достигало 87,1 мг/дм² за день. Таким образом, несмотря на снижение фотосинтеза, посто-

Т а б л и ц а 3
Величина общей облачности в весенне-летний период (балл)

Дата	Май			Июнь			Июль			Август		
	1983	1984	1985	1983	1984	1985	1983	1984	1985	1983	1984	1985
1	9	8	10	7	0	1	10	10*	8	8	10	10*
2	9	9	10	6	10*	10	10*	10	10	8	5	8
3	5	1	10*	5	0	5	8	0	4	5	5	7
4	5	3	6	5	0	7	8	8	10	7	5	6
5	3	9	1	6	10*	10*	10*	10*	10	8	2	10
6	10*	6	8	10*	8	10*	10	9	10	7	0	3
7	5	0	10	10*	9	10	8	6	10*	8	1	10*
8	5	9	10	3	0	0	7	10*	0	8	0	8
9	9	9	4	8	10	10	9	7	9	3	0	0
10	9	8	9	10	2	10	8	10	10*	0	0	0
11	9	10	8	6	10	10	7	9	10	10	0	10
12	6	10	9	9	10*	10*	8	2	10	8	10*	7
13	4	10	0	5	8	10*	5	7	1	10	10*	7
14	3	7	7	4	7	6	9	10	9	10	5	6
15	5	0	4	10	10	9	8	4	9	5	3	7
16	10	0	4	10	10*	10*	6	7	0	10	0	8
17	8	0	6	0	8	10*	10	10	10*	5	3	8
18	6	10	8	0	10*	10*	6	10*	0	10	10	5
19	6	0	8	10*	10*	0	7	9	0	4	9	7
20	10	10*	8	10*	7	10*	10*	7	0	5	0	3
21	7	9	10	9	9	10*	10*	9	0	7	10*	9
22	4	10*	7	9	7	10	7	8	0	3	2	10*
23	9	8	10	10	4	10*	8	10*	10	2	2	10*
24	6	4	7	10	10	8	10	9	10	6	2	7
25	7	1	5	4	10	7	10	8	10	8	2	8
26	8	7	4	10	10	6	6	7	10	10*	8	3
27	3	9	2	9	7	10	7	5	10*	10*	10*	2
28	3	10	3	8	10*	7	5	10*	6	10*	10*	3
29	10	10	4	6	10*	8	5	10	7	10	10	0
30	7	10*	3	10*	10*	8	2	10	10*	10*	10	6
31	10*	10*	3	—	—	—	10*	10	10*	10	10*	2
Сумма за месяц	210	207	198	225	236	233	246	240	223	225	155	189

янная смена облаков способствует более эффективному использованию света. В дни с полуденной депрессией переменная облачность обеспечивает наибольший КПД использования ФАР. Так, в 1987 г. 28 июля при облачности 0 бал. в 9 ч и 3 бал. в 15 ч поступление ФАР составило 1088 Дж/см², а величина дневной продуктивности фотосинтеза — 132,4 мг СО₂/дм².

Обобщение данных (табл. 2) показывает, что в течение указанного периода вегетации растений число дней с малой, умеренной и сильной облачностью было примерно одинаковое и составило соответственно 13, 9 и 9 дн. Малооблачная погода продолжительностью 15—17 дн. наблюдалась в мае и августе. В эти дни поступление ФАР в околополуденные часы достигало 314 Вт/м². С ростом количества облаков приход солнечной радиации снижался до 240 Вт/м² и в условиях полной облачности не превышал 170 Вт/м². Максимальная плотность потока ФАР при безоблачном небе составила 372±13,7 Вт/м² в среднем за годы исследований.

В Подмоскowie (табл. 3) чаще наблюдаются дни со значительной облачностью (в течение месяца 17 дн.), умеренная и малооблачная погода — примерно по 7 дней. Наибольшее коли-

Таблица 4

Поступление ФАР на срок определения облачности (Вт/м²)

Дата	Май			Июнь			Июль			Август		
	1983	1984	1985	1983	1984	1985	1983	1984	1985	1983	1984	1985
1	126	246	57	—	370*	350	137	301	340	288	169	195
2	218	257	284	—	358	26	380	265	116	427	186	350
3	230	357	307	—	409*	228	467	364*	463	326	223	491
4	124	357	338	—	394*	355	245	253	145	281	290	489
5	190	303	398	—	389	144	265	303	177	343	241	288
6	148	361	378	—	73	193	62	446	119	343	368*	384
7	137	362*	59	—	164	35	171	144	107	280	350	425
8	160	363	100	—	133	390*	231	128	76	246	274*	168
9	168	274	358	—	64	61	269	228	279	351	356*	510*
10	184	422	363	—	250	70	199	46	450	334*	311*	511*
11	91	86	396	—	123	43	295	55	247	—	336	107
12	218	88	389	—	374	249	350	384	347	—	130	403
13	293	369	398*	—	372	257	394	475	595	—	154	403
14	298	340	384	—	250	226	257	61	180	—	86	399
15	225	380*	90	—	213	269	386	367	190	—	243	323
16	89	311*	397	—	157	267	237	522	516*	—	288*	331
17	222	225*	444	414*	259	210	307	284	222	—	159	157
18	208	118	201	396	248	203	156	356	381	—	77	163
19	—	338*	374	229	248	435*	283	248	520*	—	154	152
20	—	194	276	229	121	350	194	353	415*	—	272*	309
21	—	135	49	282	108	295	266	315	395*	—	164	217
22	—	294	330	280	502	174	221	263	369*	—	252	232
23	—	179	159	85	346	348	58	223	44	—	247	193
24	—	367	264	70	210	241	102	127	184	—	389	368
25	—	372	266	309	188	291	141	236	247	—	223	457
26	—	276	284	229	212	410	170	79	71	—	294	324
27	—	338	424	195	380	86	307	344	421	—	170	308
28	—	118	316	244	34	307	360	296	259	—	105	264
29	—	152	281	331	110	307	382	110	331	—	93	316*
30	—	303	358	209	70	302	217	86	190	—	35	282
31	—	208	362	—	—	—	124	94	67	—	230	309

Примечание. Звездочкой отмечены безоблачные дни.

Зависимость поступления ФАР от количества облаков
(в среднем по годам)

Показатель	Май	Июнь	Июль	Август
Величина облачности, балл:				
общая	6,6	7,7	7,5	6,1
нижняя	4,0	5,5	4,8	4,1
Плотность потока ФАР, Вт/м ²	268	244	242	278
Сумма ФАР, кДж/м ²	3084	2838	2905	2900
Разница от лучистого потока при безоблачном небе, Вт/м ²	103	128	107	94
Снижение потока ФАР на каждый балл облачности, Вт/м ² :				
общая	15	15	14	15
нижняя	25	23	22	23
Продолжительность солнечного сияния, ч	273	222	225	264
Снижение энергии ФАР на каждый балл облачности, Дж/см ² ·дн.:				
общая	39	40	42	52
нижняя	65	56	67	33

Примечание. Поступление ФАР за май—август при ясном небе в среднем составило 1256 Дж/см²·дн.

чество облаков наблюдается в июне и июле. Интенсивность поступления ФАР (табл. 4) в течение мая—августа изменялась следующим образом: 268, 244, 242 и 278 Вт/м², а продолжительность солнечного сияния — соответственно 8,8; 7,4; 7,3 и 8,5 ч.

Широко известные методы расчета поступления солнечной радиации [1] с учетом облачности характеризуют ее суммарную величину. Наши исследования (табл. 5) подтвердили справедливость формулы Берлянд в приложении к средней месячной величине потока ФАР, но с учетом нижней облачности:

$$Q = Q_0(1 - ap + bn^2),$$

где Q и Q_0 — величины приходящей ФАР для данных условий облачности и при безоблачном небе, Вт/м²; n — величина облачности в долях единицы; a и b — численные коэффициенты, равные для широты Подмосковья 0,40 и 0,38.

При определении влияния облаков на поступление солнечной радиации целесообразно учитывать отклонения от ясного неба, поскольку увеличение общей облачности на 1 балл влечет за собой уменьшение поступления солнечной радиации на 15 Вт/м², соответственно для нижней облачности убывания потока ФАР составляет 23 Вт/м². Эта зависимость характерна не только для срочных наблюдений, но и для интегральных величин. Как показывают данные, дневном поступление ФАР в случае общей облачности снижается на 40 Дж/см²·бал., при нижней облачности — на 65 Дж/см²·бал.

Чтобы рассчитать изменение продуктивности фотосинтеза посевов зерновых культур в зависимости от прохождения облаков, необходимы данные об эффективности использования света рас-

тениями для осуществления фотосинтеза. Многолетние исследования с зерновыми культурами позволили нам выявить, что в среднем за вегетацию величина данного показателя составляет около 800 МДж/кг CO_2 , в частности у озимой пшеницы — 840, ячменя — 767 и овса — 786, в стрессовых условиях она возрастает до 1500 МДж/кг CO_2 . Для монослоя верхних листьев эффективность использования света также высокая и достигает 1560 МДж/кг CO_2 . Возрастание отмеченной величины связано с тем, что для расчета использовали не поглощенную, а проходящую радиацию. Несомненно, что в посевах свет используется полнее.

Результаты определений изменения интенсивности и продуктивности фотосинтеза под влиянием облачности следующие (в числителе — облачность общая, в знаменателе — нижняя):

1. Средняя величина облачности за сезон, балл	7/4,5
2. Ослабление энергии ФАР, Дж/см ² ·балл:	
за час	5/8
в течение дня	40/65
3. Эффективность использования света на фотосинтез, Дж/мг CO_2 :	
верхнего яруса	16
всех ярусов	8
4. Снижение ВФ у верхних листьев, мг CO_2 /дм ² ·ч:	
на 1 балл облачности	0,3/0,5
для складывающихся условий облачности	2,1/2,3
5. Снижение продуктивности фотосинтеза у листьев в посевах, мг CO_2 /дм ² ·дн:	
на 1 балл облачности	5/8
для складывающихся условий облачности	35/36

Приведенные величины показывают, что хорошо сформировавшиеся посева зерновых культур при фотосинтетическом потенциале 1,5 млн м²·дн/га недобирают за сезон из-за прохождения облаков около 5250 кг CO_2 на 1 га, или 2,6 т сухого вещества на 1 га. Таким образом, при существенном уменьшении облачности и сохранении условий увлажнения (например, осадки выпадают ночью) возможно увеличение продуктивности растений почти на 30 %.

Как уже отмечалось, на освещенность влияет на форма облаков. Так, облака верхнего яруса (С₁, С_с и др.), которые, как правило, имеют малую мощность, практически не ослабляют радиацию. При облаках среднего яруса приход ФАР высокий и смена освещенности становится заметной тогда, когда диск солнца не просвечивается. Наименьшее убывание облачности в случае А_с. Нижние облака и облака вертикального развития (St, Sc, Ns и Cu, Cb), особенно сплошные и дождевые, существенно изменяют условия освещенности — более 200 Вт/м²:

Выводы

1. Малооблачная погода в Подмоскowie встречается в 23 % случаев, чаще (56 %) в весенне-летний период наблюдаются дни со значительной и полной облачностью.

2. Прохождение облаков влияет на условия освещенности и, как следствие, приводит к изменению интенсивности видимого фотосинтеза. Заметное снижение ВФ наступает при величине общей облачности от 4 до 7 бал. и особенно резко он убывает (в 2,5 раза) при дальнейшем увеличении облачности. При полной облачности усвоение CO_2 снижается в 5—8 раз по сравнению с интенсивностью фотосинтеза при ясном небе. Наибольшее влияние на ВФ оказывает нижняя облачность. При облачности 0—3 бал. фотосинтез уменьшается с 15 до 11 мг, 4—7 бал. — с 11 до 9 мг и 8—10 бал. — до 2—4 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2 \cdot \text{ч}$.

3. Каждый балл общей облачности влечет за собой снижение освещенности на 15 Вт/м², нижней облачности — 23 Вт/м².

4. Под действием облаков продуктивность фотосинтеза листьев в посевах зерновых культур снижается примерно на 30 %.

5. Полученные результаты могут быть использованы при моделировании продукционного процесса и определении действительно возможного урожая зерновых в условиях Подмоскowie.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимова Н. А. Радиационные факторы продуктивности растительного покрова. — Л.: Гидрометеоздат, 1977. — 2. Лайск А. Х. Соответствие фотосинтезирующей системы условиям среды. — В кн.: Физиол. фотосинтеза. М.: Наука, 1982, с. 221—234. — 3. Пивоварова З. И. Многолетнее изменение интенсивности солнечной радиации по наблюдениям актинометрических станций. — Тр. ГГО, 1968, вып. 233, с. 17—37. — 4. Тооминг Х. Г., Гуляев Б. И. Методика измерения фотосинтетически активной радиации. — М.: Наука, 1967. — 5. Шатилов И. С., Шаров А. Ф., Татусова Л. А. Фотосинтетическая деятельность и продуктивность по-

севов озимой пшеницы в Центральном районе Нечерноземной зоны РСФСР. — Изв. ТСХА, 1987, вып. 1, с. 3—13. — 6. Wierzbicki B. — Acta physiol. plant., 1980, vol. 2, N 1, p. 69—80. — 7. Gross Louis J. — Ecology, 1982, vol. 63, N 1, p. 84—93. — 8. Gutereit Bodo, Herzog Frank-Norbert. — Tagunberg. Acad. Landwirtschaftswiss. DDR, 1986, N 224, S. 65—72. — 9. Nonteith J. L. — Physiol. Processes Limit. Plant. Prod. Proc. 30th. Univ. Nottingham East. Sch. Agr. Sci., Sutton Bonington, 2—5 Apr., 1979. — London e. a., 1981, p. 23—28. — 10. O'Rourke P. A., Terjung W. A. — Photosynthetica, 1981, vol. 15, N 4, p. 504—510.

Статья поступила 12 июля 1989 г.

SUMMARY

The effect of cloudiness on photosynthetic activity of leaves of grain crops, especially when clouds of lower layer are passing, is confirmed by experimental and calculated data. It is shown that in localities near Moscow lower photosynthetic productivity due to cloudiness reaches 30 %.