

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДИ ЛИСТЬЕВ РАСТЕНИЙ АГРОЦЕНОЗОВ

© 2017 г. Н.А. Шумова

Институт водных проблем РАН

Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: shumova_aqua@rambler.ru

Выполнено обобщение литературных данных по биометрическим характеристикам растений агроценозов. В качестве основного показателя растений рассматривается относительная площадь листьев. Подробно изложена методика и результаты определения относительной площади листьев агроценозов. Изложен метод расчета динамики относительной площади листьев злаковых культур, основанный на использовании стандартной гидрометеорологической информации. Приведены типичные периоды вегетации (начало и продолжительность) и максимальные значения относительной площади листьев как для отдельных видов растений, так и для растительных сообществ в целом.

Ключевые слова: относительная площадь листьев, растения, агроценозы, деятельный слой.

При моделировании процесса тепло- и влагообмена подстилающей поверхности с атмосферой растительность рассматривается в качестве деятельного слоя. Одним из важнейших модельных параметров растительности является относительная площадь листьев, которая изменяется в течение вегетационного периода практически непрерывно (Ничипорович, 1956, 1961). Относительная площадь листьев представляет собой величину эффективной поверхности растительного покрова на единице его площади. Существует детальная методика исследований биометрической структуры растительности (Росс, 1975), которая позволяет получить довольно полную информацию, включающую характеристики пространственной ориентации листьев. Однако к точности сведений об относительной площади листьев, необходимой для моделирования процесса тепло- и влагообмена подстилающей поверхности с атмосферой, не предъявляется особо высоких требований. В большинстве моделей временной ход относительной площади листьев обычно задается некоторой типичной функцией времени, не зависящей от конкретных гидрометеорологических условий и не учитывающей высокую изменчивость относительной площади листьев от года к году (Гусев, Бусарова, 1998). Цель настоящей работы – обобщить данные из литературных источников по биометрическим характеристикам отдельных растений и сообществ в целом.

Наиболее разработанными (и простыми) являются методы биометрических исследований агроценозов. На сети агрометеорологических станций состояние растительности отмечается средней высотой и густотой стояния растений в основные фазы их развития (Руководство ..., 1955).

В основе методики определения относительной площади листьев агроценозов лежит экспериментально установленный факт наличия связи между площадью листьев отдельного растения и его высотой для ряда зерновых и технических сельскохозяйственных культур (Чирков, 1965; Савина, 1966; Самарина, 1969; Тертерян, 1971; Минаева, 1975). Площадь листьев отдельного растения определяется по формуле (Росс, 1975):

$$\omega_p = k_l \sum_{i=1}^n (l_i b_i) + \frac{d_1 + d_2}{2} h_c + l_k d_k \quad (1),$$

где ω_p – площадь листьев отдельного растения; n – число листьев в растении; l_i и b_i – длина и

максимальная ширина листа соответственно; k_l – коэффициент, позволяющий перейти от произведения длины и максимальной ширины листа к его площади; d_1 и d_2 – диаметр стебля у основания и у верхушки соответственно; h_c – длина стебля; l_k и d_k – длина и диаметр колоса соответственно.

Измерение биометрических параметров растений яровой и озимой пшеницы и ячменя, проведенные в Целиноградской области в 1971 году и в Куйбышевской области в 1974 году (Бусарова, Шумова, 1987), позволили оценить величины коэффициентов для перехода от линейных размеров листа в его площади k_l (табл. 1). Полученные значения коэффициентов k_l хорошо согласуются с результатами, приведенными в работах (Самарина, 1969; Тертерян, 1971) для аналогичных культур, что свидетельствует о его устойчивости.

Таблица 1. Коэффициенты для перехода от линейных размеров листа к его площади.
Table 1. The coefficients to make conversion from leaf's linear dimensions to its area.

Культура	Сорт	Число случаев	k_l
<i>Целиноградская область, 1971 год</i>			
Яровая пшеница	Саратовская 29	54	0.74
	Перотрикс 28	51	0.74
	Безенчукская 98	64	0.75
<i>Куйбышевская область, 1974 год</i>			
Озимая пшеница	Харьковская 46	43	0.80
	Саратовская 36	44	0.83
	Саратовская 210	43	0.80
	Мироновская 808	43	0.77
	Альбидум 114	43	0.80
Яровой ячмень	–	37	0.70

Зависимости относительной площади листьев растений от их высоты не являются универсальными для различных культур, но в то же время, как показано в работе Н.Н. Самариной (1969), они довольно хорошо аппроксимируются степенной функцией:

$$\omega_p = a_p h_p^g \quad (2),$$

где ω_p – площадь листьев отдельного растения, см²; h_p – высота растения по вытянутому листу, см; a_p и g – эмпирические параметры, изменяющиеся в зависимости от вида культуры и фазы её развития.

Значения параметра a_p для различных культур приведены в таблице 2 (Бусарова, Шумова, 1987). Таблица составлена по результатам обработки биометрических измерений. Параметр g в формуле (2) принимается равным 1.5 для всех культур (Бусарова, Шумова, 1987).

В основе определения эмпирических параметров a_p и g лежат результаты биометрических измерений, выполненных на посевах различных сельскохозяйственных культур по основным фазам развития растений для разных регионов (Будаговский, 1964; Самарина, 1969; Муминов, 1970; Тертерян, 1971; Минаева, 1975; Бусарова, Шумова, 1987). Измеренные значения высоты растений h_p и соответствующие им рассчитанные по формуле (1) значения площади листьев ω_p легли в основу эмпирических зависимостей $\omega_p = f(h_p)$, построенных для различных культур в основные фазы их развития. В результате

аппроксимации полученных эмпирических зависимостей площади листьев от высоты для различных сельскохозяйственных культур и фаз их развития были получены численные значения параметров a_p и g . В качестве иллюстрации на рисунке 1 показана эмпирическая зависимость площади листьев растений яровой пшеницы от их высоты в фазы: третьего листа, выхода в трубку, колошения и цветения. Из рисунка видно, что эмпирическая зависимость удовлетворительно описывается степенной функцией. Значения параметра a_p приведены в таблице 2, а параметр g в формуле (2) может быть принят равным 1.5 для всех культур и фаз развития, поскольку его численные значения оказались близки.

Таблица 2. Значение параметра a_p для различных сельскохозяйственных культур (Бусарова, Шумова, 1987). **Table 2.** The parameter's a_p value for the different crops (Бусарова, Шумова, 1987).

Культура	Фаза развития	a_p
Яровая пшеница	Кущение	0.15
	Выход в трубку	0.18
	Колошение	0.12
	Цветение	0.09
	Молочная спелость	0.08
	Восковая спелость	0.07
	Уборка	0.05
Озимая пшеница	Кущение	0.20
	Выход в трубку	0.18
	Колошение	0.12
	Цветение	0.08
	Молочная спелость	0.07
	Восковая спелость	0.06
	Уборка	0.05
Ячмень	Выход в трубку	0.15
	Колошение	0.13
	Цветение	0.11
Овес	Листообразование	0.25
	Колошение	0.12
	Молочная спелость	0.10
Гречиха	От бутонизации до начала цветения	0.60
	Полное цветение – начало созревания	0.30
Кукуруза	От всходов до молочной спелости	1.70
Хлопчатник	От всходов до начала дефолиации	4.0

В своей работе А.И. Будаговский (1964) построил зависимости площади листьев кукурузы ВИР 42 от их высоты по материалам наблюдений в Ростовской области в 1959-1960 гг. и в Краснодарском крае в 1960 году. Посевы, на которых проводились работы в 1959 году, были крайне неравномерными, а в 1960 году – нормальными.

Н.Н. Самарина (1969) измерила эффективную поверхность растений на посевах овса в Эстонской ССР в 1963 году и в Молдавской ССР в 1964 году. В Курской области были

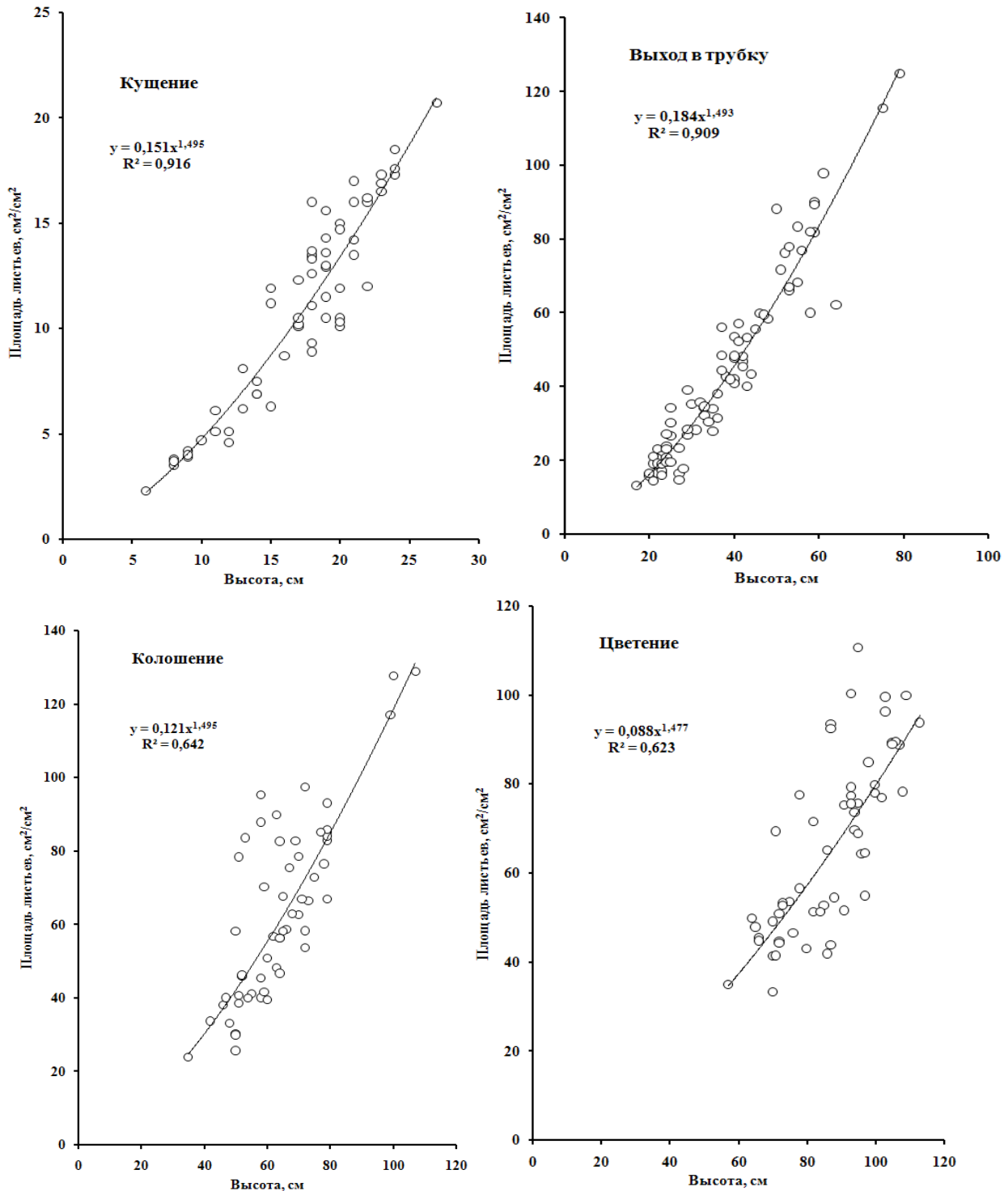


Рис. 1. Зависимость площади листьев растений яровой пшеницы ω_p от высоты h_p в различные фазы развития растений: третьего листа (кушение), выхода в трубку, колошения и цветения. Условные обозначения: во всех формула $y = a_p \cdot x^g$, показатель a_p для различных фаз равен: 0.151, 0.184, 0.121, 0.088; g – степенной показатель – во всех формулах принимает значения близкие 1.5 (1.495, 1.493, 1.495, 1.477). **Fig. 1.** Spring wheat leaves area ω_p dependence of plants height h_p during different phases: phase of the third leaf, phase of leaf-tube formation, earing and flowering. Legend: $a_p = 0.151, 0.184, 0.121, 0.088$; for different phases; $g = 1.5$ (1.495, 1.493, 1.495, 1.477) in every formula.

проведены биометрические измерения на посевах гречихи.

Ф.А. Муминовым (1970) и Е.Н. Минаевой (1975) проведены биометрические измерения на посевах тонковолокнистого и средневолокнистого хлопчатника на агрометеорологических станциях в различных районах Средней Азии в течение 4 лет (1965-1967, 1969 годы).

Б.А. Тертерян (1971) проводил наблюдения в Араратской долине на посевах озимой пшеницы сортов Егварди 4 и Арташат 42, а также в Мартунинском районе на местности высотой порядка 2000 м н.у.м. на посевах озимой пшеницы сорта Безостая 1.

О.Е. Бусарова и Н.А. Шумова (1987) в 1971 году в Целиноградской области провели биометрические измерения на посевах яровой пшеницы Безенчукская 98, Саратовская 29, Перотрикс 28. Посевы были равномерные, малозасоренные, растения нормально развивались в течение всего вегетационного периода. Аналогичные измерения были выполнены в 1974 году в Куйбышевской области на посевах яровой пшеницы Саратовская 210, Саратовская 36, Харьковская 46, озимой пшеницы Мироновская 808, Альбидум 114 и на посевах ячменя. Посевы пшеницы сорта Саратовская 210 были неоднородны. Это позволило провести измерения эффективной поверхности растений на различных участках с сильно разреженным ($\omega_{\max} \leq 1$), средним ($\omega_{\max} = 2-3$) и относительно густым посевом ($\omega_{\max} \geq 5$).

Из таблицы 3 видно, что для растений, габитус которых не изменяется в течение вегетационного периода, параметр a_p в формуле (2) сохраняет практически постоянное значение до начала существенного подсыхания и опадения нижних листьев. В частности, для кукурузы принятие этого постоянства вполне допустимо по крайней мере до наступления фазы молочной спелости. Далее a_p может несколько снижаться, но материалы, показывающие степень такого снижения, пока отсутствуют. Для хлопчатника параметр a_p сохраняет постоянное значение до начала дефолиации, после чего очень быстро снижается. У растений пшеницы, ячменя, овса и других колосовых культур, габитус которых существенно изменяется в течение вегетационного периода, величина a_p довольно существенно различается по фазам развития.

Таблица 3. Соотношение между высотой растения, измеренной «до отгиба листа» (h_1 , см), и «по вытянутому листу» (h_2 , см; Бусарова, Шумова, 1987). **Table 3.** The ratio between plant's height, measured in cm, "to the leaf's limb" (h_1 , cm), and "along the stretched leaf" (h_2 , cm; Бусарова, Шумова, 1987).

h_1	2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
h_2	10	19	30	45	56	66	75	84	93	102	111	120

В случаях, когда в материалах наблюдений агрометеорологических станций для начальных фаз развития растений приводятся данные по высоте, измеренной «до отгиба листа», что практически является высотой стебля, можно воспользоваться таблицей 3, в которой приводятся соответствующие им данные о высоте, измеренной «по вытянутому листу» (Бусарова, Шумова, 1987).

Относительная площадь листьев посева определяется по соотношению:

$$\omega = \frac{\omega_p n_p}{S_n} \quad (3),$$

где ω – относительная площадь листьев посева; n_p – число растений на единице площади посева; S_n – площадь посева. Относительная площадь листьев отдельного растения ω_p в соотношении (3) определяется по зависимости (2) по данным агрометеорологических станций о высоте растений в основные фазы развития.

Следовательно, зная фазу развития, среднюю высоту и густоту растений, можно

определить относительную площадь листьев посева.

С момента начала массового подсыхания и опадения нижних листьев, наступающих после фазы цветения, величину относительной площади листьев определяют косвенным методом, который основан на наличии зависимости между относительной площадью листьев и долей прямой радиации, достигшей поверхности почвы (Лопухин, 1948). Зависимость между долей прямой радиации, достигшей поверхности почвы, и относительной площадью листьев имеет вид:

$$N=e^{-\alpha\omega} \quad (4),$$

где N – доля прямой радиации, достигшей поверхности почвы; α – коэффициент, зависящий от высоты Солнца; ω – относительная площадь листьев посева. Коэффициент α выражается зависимостью:

$$\alpha=a_0+\frac{b_0}{\sinh_0} \quad (5),$$

где h_0 – высота Солнца в градусах; a_0 и b_0 – эмпирические коэффициенты, определяемые на основе аппроксимации графически представленных фактических данных измерений доли прямой радиации и относительной площади листьев.

Для измерения доли прямой радиации, достигшей поверхности почвы, используют рейку Е.А. Лопухина (1948). Рейка для наблюдений на посевах зерновых колосовых культур представляет собой линейку длиной 50 см, с 10 черными метками диаметром 2.5 мм. Ее помещают на поверхность почвы под прямым углом к рядам при рядовом посеве и подсчитывают число освещенных меток. В каждой серии опытов отсчеты проводят при 10 положениях рейки. Отношение числа освещенных меток во всех положениях к общему их числу равно доле прямой радиации, достигшей поверхности почвы N . Поскольку величина N зависит от высоты Солнца, измерения проводят в различные часы суток.

Измерения параметра N проводятся при различных значениях относительной площади листьев в фазы выхода в трубку, колошения и цветения, когда величина относительной площади листьев определяется прямым методом. По результатам измерений из выражения (5) определяется коэффициент α :

$$\alpha=\frac{\ln N}{\omega} \quad (6),$$

Для определения численных значений коэффициентов a_0 и b_0 и в формуле (5) используется эмпирическая зависимость:

$$\alpha=f\left(\frac{1}{\sinh_0}\right) \quad (7),$$

в которой коэффициент α рассчитывается на основе измеренных в посеве значений параметра N и соответствующих им рассчитанных значений относительной площади листьев посева ω . Высота Солнца h_0 определяется по таблицам в зависимости от географической широты и времени.

Таким образом, используя измеренные значения параметра N и зная высоту Солнца h_0 , можно получить величины относительной площади листьев ω в поздние фазы развития растений из соотношения (4):

$$\omega=-\frac{\ln N}{\alpha} \quad (8).$$

Описанная методика была использована при проведении биометрических исследований в 1971 году в Целиноградской области на посевах яровой пшеницы Саратовская 29, Перотрикс 28, Безенчукская 98 и в 1974 году в Куйбышевской области на посевах яровой

пшеницы Саратовская 210, Харьковская 46 и орошаемой озимой пшеницы Мироновская 808. В результате были получены координаты зависимости коэффициента α от высоты Солнца h_{\circ} (табл. 4), которые позволяют оценить величину относительной площади листьев косвенным путем. Проведенные наблюдения и последующие расчеты позволили получить обобщенную биометрическую кривую для периода массового опадения листьев.

Таблица 4. Координаты зависимости коэффициента α от высоты Солнца h_{\circ} .

Table 4. The coordinates of α coefficient dependence of the solar altitude h_{\circ} .

h_{\circ} , град	70	60	50	40	30	20	15
α	0.20	0.22	0.25	0.31	0.40	0.60	0.81

Следовательно, зная фазу развития, среднюю высоту и густоту растений, можно определить относительную площадь листьев посева.

В тех случаях, когда на агрометеорологических станциях фиксируют лишь даты прохождения фаз развития растений, можно использовать нормированные кривые изменения относительной площади листьев по фазам развития растений или во времени (Бусарова, Шумова, 1987). При построении нормированных кривых изменения относительной площади листьев яровой пшеницы были обработаны материалы наблюдений, проведенных в общей сложности за 110 лет на 10 агрометеорологических станциях и расположенных в лесостепной и степной зонах. Эти материалы отражают широкий диапазон условий произрастания пшеницы и разнообразие ее сортов. Величины относительной площади листьев изменялись как по максимальным значениям (от 1 до 10), так и по времени прохождения фаз развития растений.

Обычно в сухие годы яровая пшеница проходит все фазы развития на одну-две декады быстрее, чем во влажные. Но, несмотря на это, очертания кривых изменения относительной площади листьев во времени не обнаруживают существенных различий: изменяются лишь величины максимальных значений относительной площади листьев. В сухие годы максимальное значение относительной площади листьев, как правило, ниже 3, а в годы достаточного увлажнения растения развиты лучше и величина относительной площади листьев заметно выше.

Величины относительной площади листьев были пронормированы по их максимальному значению, которое обычно достигается при прекращении вегетативного роста. Для пшеницы и ячменя это наблюдается в фазу цветения. Нормирование величин относительной площади листьев выполнено для основных фаз развития растений, вычислены средние даты их прохождения.

По материалам индивидуальных нормированных кривых изменений относительной площади листьев во времени были построены соответствующие обобщенные кривые. На рисунке 2 представлена обобщенная нормированная зависимость $\omega/\omega_{\text{макс}}=f(\tau)$ для яровой пшеницы в течение вегетационного периода. Здесь время также представлено в относительных единицах введением безразмерной величины $\tau=(t-t_g)/(t_y-t_g)$, где t – время, отсчитываемое от даты всходов t_g , а t_y – время прохождения фазы цветения, когда наблюдается максимальная величина относительной площади листьев $\omega_{\text{макс}}$. Изменчивость времени прохождения фаз развития растений, отсчитываемого от даты появления всходов, характеризуется средним квадратическим отклонением, равным 3-5 дням.

Ось времени можно представить в виде суммы суточных температур воздуха, о чем свидетельствует график, приведенный на рисунке 3, где по оси абсцисс представлено время τ , а по оси ординат – сумма температур воздуха в относительных единицах $\theta=\Sigma T/\Sigma T_{\text{макс}}$, где

ΣT – сумма суточных температур воздуха с момента всходов за время $(t-t_0)$, ΣT_{\max} – сумма суточных температур воздуха за время (t_u-t_0) , то есть от всходов до цветения. Однако это требует дополнительной информации о температуре воздуха и не дает никаких преимуществ. Средние квадратические отклонения величины ω/ω_{\max} посевов яровой пшеницы изменяются от 0.04 до 0.14 по мере возрастания самой величины.

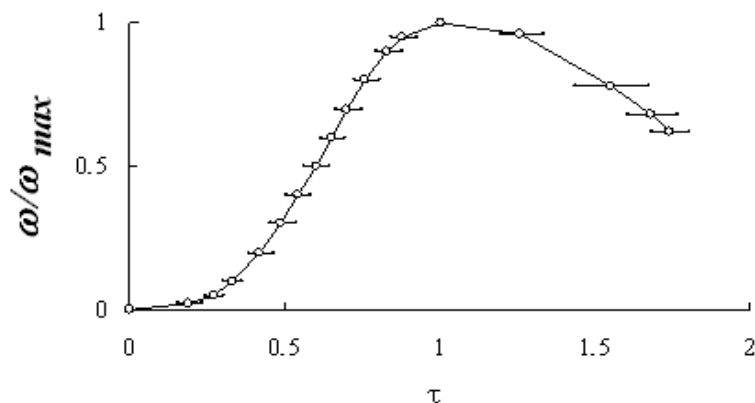


Рис. 2. Обобщенная нормированная кривая изменения относительной площади листьев яровой пшеницы во времени (Шумова, 2010). **Fig. 2.** The generalized and normalized curve of summer wheat leaves' relative area temporal changing (Шумова, 2010).

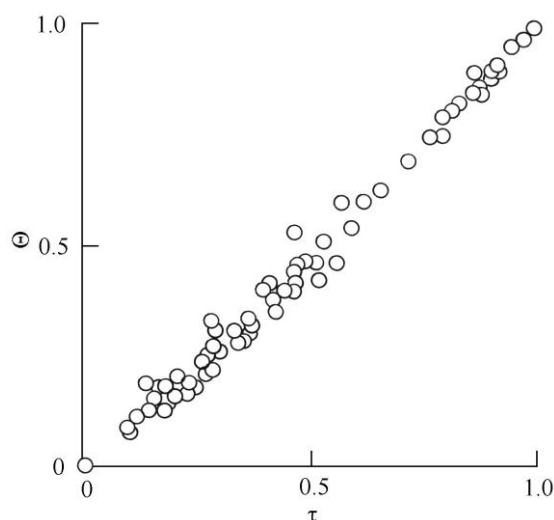


Рис. 3. Зависимость сумм суточных температур воздуха Θ от времени τ (в относительных единицах; Шумова, 2010). **Fig. 3.** The daily air temperatures' sums (Θ) dependence of time τ (measured in relative units; Шумова, 2010).

Аналогичные построения были выполнены также для озимой пшеницы и ячменя. Координаты осредненных нормированных кривых для яровой и озимой пшеницы и ячменя приведены в таблице 5.

В таблице 6, составленной по данным из литературных источников (Джоган, Лозинская, 1993), представлены нормированные величины относительной площади листьев в зависимости от времени, нормированного по длине вегетационного периода. Обобщенные данные по относительной площади листьев для отдельных видов растений, приведенные в

таблице 6, имеют разную надежность. Так, значения относительной площади листьев посевов яровой пшеницы (Бусарова, Шумова, 1987) отражают широкий диапазон условий произрастания данной культуры и разнообразия ее сортов. Значения относительной площади листьев для викоовсяной смеси, капусты, подсолнечника, сорго и сосны взяты по индивидуальным зависимостям относительной площади листьев от времени. Но, несмотря на указанную неоднородность данных, таблица 6 дает возможность оценить изменение относительной площади в течение вегетационного периода для различных культур.

Таблица 5. Координаты обобщенных нормированных зависимостей относительной площади листьев ω/ω_{\max} от фаз развития растений и времени (Бусарова, Шумова, 1987).

Table 5. The coordinates of generalized and normalized leaves' relative area (ω/ω_{\max}) dependences of plant's growth phases and time (Бусарова, Шумова, 1987).

Культура	Фаза развития	Время		ω/ω_{\max}
		сутки	$\tau/\tau_{\text{вег}}$	
Яровая пшеница	Всходы	0	0	0
	Третий лист	10	0.11	0.07
	Кущение	17	0.18	0.22
	Выход в трубку	26	0.28	0.43
	Колошение	44	0.48	1.00
	Цветение	53	0.58	1.00
	Молочная спелость	66	0.72	0.90
	Восковая спелость	77	0.84	0.74
	Уборка	92	1.00	0.62
Озимая пшеница	Возобновление вегетации	0	0	0.10
	Выход в трубку	34	0.32	0.20
	Колошение	61	0.58	1.00
	Цветение	68	0.65	1.00
	Молочная спелость	80	0.76	0.90
	Восковая спелость	95	0.90	0.74
	Уборка	105	1.00	0.62
Ячмень	Всходы	0	0	0
	Третий лист	8	0.09	0.06
	Кущение	15	0.18	0.15
	Выход в трубку	20	0.24	0.26
	Колошение	46	0.54	1.00
	Молочная спелость	58	0.68	0.97
	Восковая Спелость	73	0.86	0.81
	Уборка	85	1.00	0.62

Представление о том, каковы типичные максимальные значения относительной площади листьев, дает таблица 7 (Раунер, 1972; Лархер, 1978; Джоган, Лозинская, 1993), дополнением к которой может служить таблица 8 (Джоган, Лозинская, 1993), где приведены данные о

Таблица 6. Нормированные величины относительной площади листьев ω/ω_{\max} в зависимости от времени, нормированного по длине вегетационного периода $\tau/\tau_{\text{вег}}$ (Джоган, Лозинская, 1993). **Table 6.** The normalized values of leaves' relative area ω/ω_{\max} , depending on time, normalized to the length of the vegetation period $\tau/\tau_{\text{вег}}$ (Джоган, Лозинская, 1993).

Элементарная геосистема	Время, $\tau/\tau_{\text{вег}}$						Литературный источник
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	
Викоовсяная смесь	0	1.00	0.54	0.10	0.02	0	(Тумас, 1989)
Виноградник	0.02	0.19	0.71	1.00	0.95	0.77	(Тертерян, 1975)
Зерновые	0	0.21	0.51	0.99	0.81	0.27	(Раунер, 1972)
Капуста поздняя	0	0.24	0.50	1.00	0.66	0.55	(Тумас, 1989)
Картофель	0	0.36	0.78	0.98	0.76	0.26	(Ничипорович, 1956; Гэлстон, Девис, Сэттер, 1983)
Ковыльно-прямо-костровая ассоциация луговой степи	0	0.31	0.83	0.87	0.27	0	(Утехин, Хоант Гьюинг, 1976)
Кукуруза	0	0.09	0.48	0.96	0.98	0.74	(Бусарова, Шумова, 1987; Тумас, 1989)
Лиственные деревья	0.10	1.00	1.00	1.00	0.88	0.10	(Benetin et al, 1986)
Люцерна между укосами	0.05	0.07	0.23	0.43	0.68	1.00	(Джоган, 1990)
Озимая пшеница	0.10	0.15	0.45	1.00	0.85	0.62	(Бусарова, Шумова, 1987)
Озимые	0.07	0.16	0.60	1.00	0.86	0.50	(Ничипорович, 1956; Гэлстон, Девис, Сэттер, 1983; Бусарова, Шумова, 1987)
Подсолнечник	0	0.03	0.35	0.84	1.00	0.83	(Лархер, 1978)
Рис	0	0.51	0.98	0.81	0.46	0.30	(Yabuki, Ishibashi, 1968; Uchijima, 1976)
Свекла	0	0.22	0.58	0.92	0.99	0.86	(Ничипорович, 1956; Гэлстон, Девис, Сэттер, 1983; Тумас, 1989)
Сорго	0	0.11	0.22	0.47	0.77	1.00	(Takeda, Takami, 1970)
Сосна	0.69	0.68	0.66	0.99	0.81	0.68	(Stewart, 1988)
Хлопчатник	0.04	0.29	0.79	1.00	1.00	0.07	(Муминов, 1970; Минаева, 1975; Джоган, 1990)
Яровая пшеница	0	0.24	0.81	1.00	0.84	0.62	(Бусарова, Шумова, 1987)
Ячмень	0	0.19	0.48	1.00	0.84	0.62	(Ничипорович, 1956; Гэлстон, Девис, Сэттер, 1983; Бусарова, Шумова, 1987; Выгодская, Горшкова, 1987; Тумас, 1989)

средней дате начала периода вегетации, его длительности и типичных максимальных значениях относительной площади листьев разных культур Центральных черноземных областей. Хотя данные таблицы 8 касаются Центральных черноземных областей, их и данные таблиц 6 и 7 без ощутимой ошибки можно распространить на другие регионы, в которых возделывают соответствующие культуры (Шумова, 1994).

Таблица 7. Типичные максимальные значения относительной площади листьев ω_{\max} для различных видов растений (Раунер, 1972; Лархер, 1978; Джоган, Лозинская, 1993).

Table 7. The typical maximal values of leaves' relative area ω_{msx} for different species. (Раунер, 1972; Лархер, 1978; Джоган, Лозинская, 1993).

Геосистема	ω_{\max}
Болота, марши	7
Бореальные леса	12
Вечнозеленые леса умеренной зоны	12
Заросли сухих кустарников и редколесье из жестколистных деревьев	4
Кустарнички и пустыни	1
Леса, облиственные в период дождей и летнезеленые леса	5
Луга и степи	3.6
Саванны	4
Сухие пустыни и льды	0.5
Тропические леса	8
Тундра и горы	2
Картофель	2.5-3
Кормовая свекла	3
Кормовые травы	3-4
Кукуруза на зерно	2.5-3.5
Кукуруза на силос	3-5
Листовая капуста	3
Овощи	2.5
Огурцы	2.5-3.2
Озимые	3.5
Пастбища и естественные сенокосы	3
Подсолнечник на семена	2.5-3.5
Подсолнечник на силос	2.5-3.5
Поля и плантации	4
Травы многолетние	2.7
Травы однолетние	2.3
Тыква	2.5-3
Яровая пшеница	2-3

Значительные колебания максимальных значений относительной площади листьев также отмечают для полей, занятых одной культурой, что связано, как правило, с погодными условиями и применяемой агротехникой. Так, например, в момент кущения зерновых засуха может резко (в несколько раз) уменьшить величину относительной площади листьев. Влияние же агротехники еще сильнее. В одном и том же регионе одновременно можно обнаружить поля с пшеницей, где максимальное значение относительной площади листьев изменяется от 1 до 10. Однако при грамотном применении агротехнических приемов этот диапазон значительно сужается до 3-4.

Таблица 8. Типичные максимальные значения относительной площади листьев ω_{\max} и периоды вегетации τ_{veg} (начало и продолжительность, сут) для различных культур Центральных черноземных областей (Джоган, Лозинская, 1993). **Table 8.** The typical maximal values of leaves' relative area ω_{\max} and vegetation periods τ_{veg} (their start and duration, days) for different crops of the Central Black Earth Regions (Джоган, Лозинская, 1993).

Геосистема	ω_{\max}	τ_{veg}
Вика на зерно	3	28.04 (120)
Горох	5.6	6.05 (80)
Гречиха	7	1.06 (70)
Капуста	2	17.05 (60)
Картофель	2.5	26.05 (90)
Клевер (возобновление вегетации-1 укос)	3	14.04 (64)
Клевер (1-2 укос)	2.5	16.06 (73)
Клевер после 2 укоса	–	(33)
Конопля	4	15.05 (145)
Кормовая свекла	3	5.05 (95)
Кукуруза на зерно	2.5	20.05 (100)
Кукуруза на силос	4	19.05 (73)
Лиственный лес	8	8.05 (174)
Лиственный лес, ω_{\max}	–	20.05 (131)
Люпин	3	5.05 (150)
Люцерна (возобновление вегетации-1 укос)	4	13.04 (66)
Люцерна (1-2 укос)	3.2	17.06 (52)
Люцерна (2-3 укос)	2.8	7.08 (64)
Овес	4	1.05 (90)
Огурцы	2.5	5.06 (77)
Однолетние травы	2.6	10.05 (110)
Озимая пшеница (от посева до прекращения вегетации)	–	9.09 (49)
Озимая пшеница (от возобновления вегетации до уборки)	3.5	9.04 (109)
Озимая рожь (от посева до прекращения вегетации)	–	13.09 (45)
Озимая рожь (от возобновления вегетации до уборки)	3.5	9.04 (108)
Подсолнечник	3	15.05 (100)
Помидоры	2.5	24.05 (90)
Просо	3	28.05 (90)
Рапс	3	3.05 (63)
Сад	6	18.04 (180)
Сад, ω_{\max}	–	10.05 (150)
Сахарная свекла	8.2	10.05 (110)
Сорго на зерно	3	30.05 (98)
Яровая пшеница	3.5	28.04 (90)
Ячмень	3.5	6.05 (84)

Некоторое представление о межгодовой изменчивости максимальных значений относительной площади листьев ω_{\max} яровой пшеницы дают кривые обеспеченности,

представленные на рисунке 4, а также их средние значения и статистические характеристики (табл. 9). Обеспеченность определялась по соотношению (Клибашев, Горошков, 1970):

$$P = \frac{m - 0.4}{n + 0.2} 100\% \quad (9),$$

где m – номер члена ряда, расположенного в порядке убывания; n – число членов ряда.

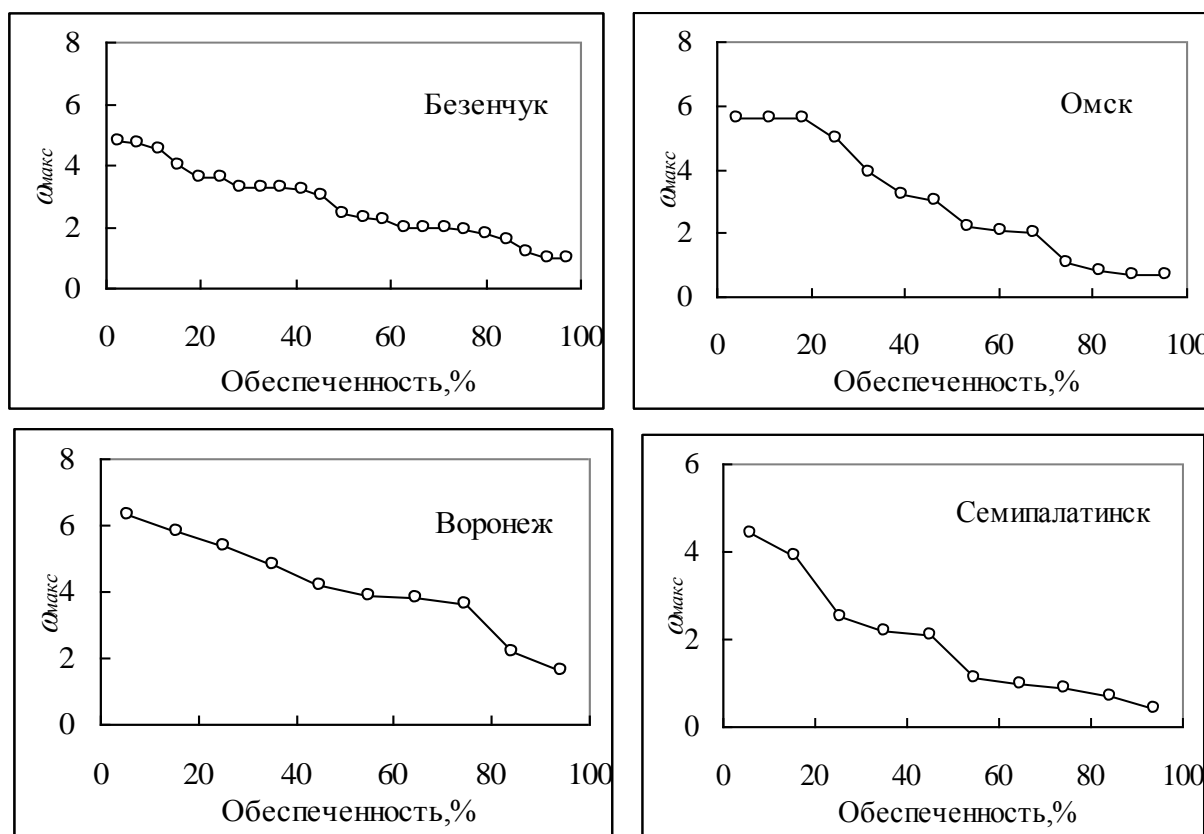


Рис. 4. Кривые обеспеченности максимальных величин относительной площади листьев ω_{max} (Шумова, 2010). **Fig. 4.** The curves of security of leaves' relative area maximal values ω_{max} (Шумова, 2010).

Среднее квадратическое отклонение σ и коэффициент вариации C_v , представленные в таблице 9, определяли по стандартным статистическим формулам, принятым в гидрологии (Клибашев, Горошков, 1970).

Средние многолетние значения максимальных величин относительной площади листьев посевов яровой пшеницы для агрометеорологических станций Безенчук, Омск, Воронеж, Семипалатинск изменяются от 4.2 до 1.9 в зависимости от погодных условий и засушливости территории, среднее квадратическое отклонение находится в пределах 1.1-1.9 (Шумова, 2010). По данным А.А. Ничипоровича (1956), оптимальными максимальными значениями относительной площади листьев для сельскохозяйственных культур можно считать 4-5.

Продолжительность вегетационного периода можно оценить, исходя из климатоэкологического принципа классификации растений П.И. Колоскова (1947) и В.Н. Степанова (1957). Согласно этим работам, по продолжительности вегетационного периода растения разделены на семь групп со средней продолжительностью вегетации: 60-80, 80-100, 100-120, 120-140, 140-160, 160-180 и более 180 дней.

Таблица 9. Межгодовая изменчивость максимальных величин относительной площади листьев посевов яровой пшеницы ω_{\max} . **Table 9.** The interannual changes of summer wheat leaves relative area maximal values ω_{\max} .

Агрометеорологическая станция	Число случаев	$\bar{\omega}_{\max}$	σ	C_v
Безенчук	23	2.7	1.1	0.41
Омск	14	3.0	1.9	0.63
Воронеж	10	4.2	1.5	0.36
Семипалатинск	10	1.9	1.4	0.74

По потребности в тепле, выраженной в суммах активных температур воздуха (сумма среднесуточных температур воздуха за период с устойчивой температурой воздуха выше 10°C), также выделено семь групп растений с интервалом в 400°C . Растения умеренного пояса разделены на следующие группы: $800-1200^{\circ}\text{C}$, $1200-1600^{\circ}\text{C}$, $1600-2000^{\circ}\text{C}$, $2000-2400^{\circ}\text{C}$, $2400-2800^{\circ}\text{C}$, $2800-3200^{\circ}\text{C}$ и более 3200°C . Пользуясь классификацией П.И. Колоскова или В.Н. Степанова, каждую культуру можно характеризовать численными показателями, приведенными в таблице 10 (Шульгин, 1978). Таким образом, оценить продолжительность вегетационного периода можно, ориентируясь на данные по температуре воздуха исследуемого региона и на данные таблицы 10 о потребности в тепле возделываемой культуры.

Кроме того, в агрометеорологии накоплен определенный опыт использования зависимости дат прохождения основных фаз развития растений от суммы активных температур воздуха (Руководство, 1955; Шиголев, Пономарев, 1958; Будаговский, 1960; Шумова, 1994). В таблице 11 приведены средние значения сумм активных температур воздуха в основные фазы развития яровой пшеницы (Шумова, 1994). В работе А.И. Будаговского (1960) приведена аналогичная таблица для озимых и яровых культур. Время и суммы температур для яровых отсчитываются со дня появления всходов, для озимых – со дня возобновления вегетации (табл. 12).

В работе (Гусев, Бусарова, 1998) рассмотрен метод расчета динамики относительной площади листьев злаковых культур, основанный на использовании стандартной гидрометеорологической информации. При этом учтено, что в условиях достаточного увлажнения относительная площадь листьев конкретной культуры в течение периода вегетации изменяется в оптимальном режиме по некоторой заданной «генетической» программе. Темп такой изменчивости определяется биологическим временем, связанным с суммой среднесуточных положительных температур воздуха. Влияние недостаточности увлажнения учитывается введением функции стресса, которая определяется через отношение фактической транспирации к потенциальной.

Вегетационный период условно делится на пять характерных этапов, в пределах каждого из которых можно принять скорость прироста относительной площади листьев постоянной. Временные границы этих этапов лишь приблизительно согласуются с соответствующими фазами развития растений. В таблице 13 представлены величины относительной площади листьев злаковых культур, развивающихся в оптимальных условиях, и суммы среднесуточных положительных температур воздуха, соответствующие этим этапам (Гусев, Бусарова, 1998).

Таблица 10. Потребность основных сельскохозяйственных культур в тепле (в суммах активных температур) за вегетационный период (Степанов, 1957). **Table 10.** The main crops need (presented as the sums of the effective temperatures) for warmth during the vegetation period (Степанов, 1957).

Культура	Сумма температур, °С
Брюква	1600-2800
Виноград	2100-4000
Египетский хлопчатник	5000-6000
Картофель	1200-2400
Конопля южная	2000-2600
Кукуруза на зерно	2000-3200
Лен на волокно	800-1200
Лук на перо	500-700
Подсолнечник	1200-2400
Просо	1200-2400
Редис	500-700
Рис	2000-3600
Салат	500-700
Сахарная свекла	2000-2600
Сахарный тростник	5000-6000
Сорго	2000-3200
Соя	2000-3200
Столовая свекла	1600-2800
Хлопчатник	2800-3600
Цитрусовые	4000-5000
Чай	4000-5000
Яровая пшеница	1200-2000
Ячмень	800-1600

Заключение

Выполненные обобщения экспериментального материала в сочетании с данными стандартных наблюдений агрометеорологических станций, а также материалы из литературных источников, позволяют получить значения относительной площади листьев подстилающей поверхности с различной степенью точности в зависимости от наличия биометрических данных растительности в исследуемом регионе и учитывая конкретные климатические условия.

Наиболее разработанными являются методы оценки относительной площади листьев агроценозов, в основе которых лежат как материалы наблюдений агрометеорологических станций за высотой и густотой посева, так и обобщенные нормированные зависимости относительной площади листьев сельскохозяйственных культур от времени. В случае полного отсутствия информации о динамике развития агроценоза, оценить относительную площадь листьев можно используя данные о температуре воздуха исследуемой территории.

Обобщение литературных данных по биометрическим характеристикам естественной растительности позволяет оценить:

- изменение относительной площади листьев в течение вегетационного периода,
- максимальные значения относительной площади листьев,

- и определить типичные периоды вегетации (начало и продолжительность) как для отдельных видов растений, так и экосистем в целом.

Таблица 11. Суммы активных (выше 5°C) среднесуточных температур воздуха $\Sigma T_{>5}$ и их средние квадратические отклонения в основные фазы развития яровой пшеницы (Шумова, 1994). **Table 11.** The sums of effective (higher than 5°C) average daily air temperatures $\Sigma T_{>5}$ and their average quadratic deviation in the main phases of the summer wheat growth (Шумова, 1994).

Фаза развития	$\Sigma T_{>5}, ^\circ\text{C}$
Посев	51 ± 73
Всходы	157 ± 84
Третий лист	296 ± 72
Кущение	380 ± 71
Выход в трубку	524 ± 91
Колошение	864 ± 74
Цветение	965 ± 76
Молочная спелость	1261 ± 95
Восковая спелость	1521 ± 96
Полная спелость	1693 ± 213

Таблица 12. Суммы среднесуточных температур воздуха $\Sigma T_{>0}$ в основные фазы роста яровой и озимой пшеницы (Будаговский, 1960). **Table 12.** The average daily air temperatures sums $\Sigma T_{>0}$ during the main growing phases of summer and winter wheat (Будаговский, 1960).

Фаза развития	Яровые		Озимые	
	Время, сутки	$\Sigma T_{>0}, ^\circ\text{C}$	Время, сутки	$\Sigma T_{>0}, ^\circ\text{C}$
Всходы	0	0	–	–
Третий лист	11	–	–	140
Кущение	17	240	–	–
Возобновление вегетации	–	–	0	0
Выход в трубку	31	470	32	270
Колошение	47	790	50	540
Цветение	52	880	60	720
Молочная спелость	64	1140	74	1000
Восковая спелость	77	1450	86	1260
Полная спелость	83	1560	92	1400

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Будаговский А.И. 1960. Водопотребление растений и его связь с гидроклиматическими факторами // Гидроклиматический режим лесостепной и степной зон СССР в засушливые и влажные годы. М.: Издательство АН СССР. С. 5-25.
- Будаговский А.И. 1964. Испарение почвенной влаги. М.: Наука. 242 с.

- Бусарова О.Е., Шумова Н.А. 1987. Биометрические характеристики посевов некоторых сельскохозяйственных культур и их использование для расчетов испарения // Водные ресурсы. № 2. С. 130-135.
- Выгодская Н.Н., Горшкова И.И. 1987. Теория и эксперимент в дистанционных исследованиях растительности. М.: Гидрометеоздат. 248 с.
- Гусев Е.М., Бусарова О.Е. 1998. Моделирование динамики относительной площади листьев злаковых культур // Метеорология и гидрология. № 1. С. 100-107.
- Гэлстон А., Девис П., Сэттер Р. 1983. Жизнь зеленого растения. М.: Мир. 550 с.
- Джоган Л.Я. 1990. Испарение с орошаемых полей Средней Азии. М.: Наука. 88 с.
- Джоган Л.Я., Лозинская Е.А. 1993. Способ осреднения относительной площади листьев при мезомасштабной оценке тепло- и влагообмена подстилающей поверхности с атмосферой // Водные ресурсы. Т. 20. № 6. С. 693-700.

Таблица 13. Суммы среднесуточных положительных температур воздуха ($\Sigma T_{>0}$) с их средними квадратическими отклонениями и относительная площадь листьев (ω) для характерных этапов развития злаковых культур, не испытывающих стресса (Гусев, Бусарова, 1998). **Table 13.** The sums of the average daily positive air temperatures ($\Sigma T_{>0}$) with their average quadratic deviation, and leaves relative area (ω) for specific growth phases of crops, which are not under the influence of any stress (Гусев, Бусарова, 1998).

Культура	Этап развития	$\Sigma T_{>0}$	ω
Яровая пшеница	Всходы	300 ± 70	0
	I	670 ± 90	1.2
	II	980 ± 90	4.5
	III	1160 ± 80	5.1
	IV	1340 ± 80	5.1
	V (уборка)	1930 ± 100	3.1
Озимая пшеница	Всходы	50 ± 30	0
	I	400 ± 110	1.3
	II	720 ± 140	4.7
	III	930 ± 160	5.3
	IV	1070 ± 160	5.3
	V (уборка)	1610 ± 240	3.2
Ячмень	Всходы	340 ± 90	0
	I	710 ± 140	1.0
	II	970 ± 110	4.6
	III	1140 ± 100	5.4
	IV	1270 ± 130	5.4
	V (уборка)	1820 ± 130	3.2
Кукуруза	Всходы	620 ± 140	0
	I	1230 ± 190	0.7
	II	1650 ± 230	2.1
	III	2050 ± 230	2.5
	IV	2220 ± 220	2.5
	V (уборка)	2640 ± 220	1.5

- Клибашев К.П., Горошков И.Ф.* 1970. Гидрологические расчеты. Л.: Гидрометеорологическое издательство. 460 с.
- Колосков П.И.* 1947. Биоклиматическая классификация сельскохозяйственных культур // Агроклиматическое районирование Казахстана. Т. 1. М.-Л.: Издательство Академии наук СССР. С. 91-98.
- Лархер В.* 1978. Экология растений. М.: Мир. 384 с.
- Лопухин Е.А.* 1948. О спектральном поглощении радиации хлопчатником // Доклады АН УзбССР. № 9. С. 13-18.
- Минаева Е.Н.* 1975. Биологические характеристики хлопчатника // Мелиорация земель в Туркменистане. Вып. 2. Ташкент. С. 27-37.
- Муминов Ф.А.* 1970. Тепловой баланс и формирование урожая хлопчатника // Труды САНИГМИ. Вып. 50 (65). 247 с.
- Ничипорович А.А.* 1961. О свойствах посевов растений как оптической системы // Физиология растений. Вып. 5. С. 536-546.
- Ничипорович А.А.* 1956. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев // Тимирязевские чтения. Т. XI. М.: Издательство АН СССР. 94 с.
- Раунер Ю.Л.* 1972. Тепловой баланс растительного покрова. Л.: Гидрометеиздат. 206 с.
- Росс Ю.К.* 1975. Радиационный режим и архитектура растительного покрова. Л.: Гидрометеиздат. 342 с.
- Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям. 1957. Л.: Гидрометеиздат. 124 с.
- Руководство по контролю и обработке наблюдений над фазами развития сельскохозяйственных культур. 1955. Л.: Гидрометеиздат. 108 с.
- Савина С.С.* 1966. Определение площади листьев зерновых культур по материалам наблюдений агрометеостанций // Метеорология и гидрология. № 5. С. 50-51.
- Самарина Н.Н.* 1969. Методика и некоторые результаты исследований биометрической структуры посевов сельскохозяйственных культур // Известия АН СССР. Серия географическая. № 1. С. 106-114.
- Степанов В.Н.* 1957. Биологическая классификация сельскохозяйственных растений полевой культуры // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Вып. 2. С. 5-29.
- Тертерян Б.А.* 1975. Испарение с орошаемых и неорошаемых полей Армянской ССР. Автореферат диссертации на соискание ... к.г.н. Баку: ИГ АН АзССР. 21 с.
- Тертерян Б.А.* 1971. Методика и некоторые результаты исследований взаимосвязи между радиационным режимом и биометрической структурой растительного покрова // Биологический журнал Армении. Т. 24. № 2. С. 24-32.
- Тумас Р.А.* 1989. Прогнозирование суммарного испарения. Научно-техническая информация. Мелиорация и водное хозяйство // Министерство мелиорации и водного хозяйства БССР. С. 13-19.
- Утехин В.Д., Хоант Тьюинг.* 1976. Структура и продуктивность фитомассы луговой степи // Биота основных геосистем Центральной лесостепи. М.: Институт географии АН СССР. С. 7-24.
- Чирков Ю.И.* 1965. Основы долгосрочного агрометеорологического прогноза урожая зерна кукурузы // Метеорология и гидрология. № 9. С. 3-7.
- ШигOLEV А.А., Пономарев Б.П.* 1958. О связи числа колосков в колосе яровой пшеницы с агрометеорологическими условиями // Труды ЦИП. Вып. 72. Л. С. 3-11.
- Шульгин А.М.* 1978. Агрометеорология и агроклиматология. Л.: Гидрометеиздат. 200 с.
- Шумова Н.А.* 2010. Закономерности формирования водопотребления и водообеспеченности агроценозов в условиях юга Русской равнины. М.: Наука. 239 с.

- Шумова Н.А.* 1994. Относительная площадь листьев в расчетах суммарного испарения посевов яровой пшеницы // Водные ресурсы. Т. 21. № 6. С. 697-703.
- Benetin J., Novak V., Soltész A., Steukauerova V.* 1986. Intercepcia a jej vplyv na vodnu bilanciu vegetacnej pokryvky // Vodohosp. Roč. Vol. 34. № 1. Pp. 3-24.
- Stewart J.B.* 1988. Modelling surface conductance of pine forest // Agricultural and Forest Meteorology. Vol. 43. Pp. 19-35.
- Takeda K., Takami S.* 1970. Radiation regime of sorgo canopy // Photosynthesis and utilization of solar energy. Tokyo. Pp. 22-23.
- Uchijima Z.* 1976. Microclimate of the rice crop // International Rice Research Institute. Los Banos Philippines. Pp. 115-140.
- Yabuki K., Ishibashi A.* 1968. Seasonal change of photosynthesis in rice field // Photosynthesis and utilization of solar energy. Tokyo. Pp. 7-10.

**THE METHODOICAL APPROACHES TO EVALUATION
OF THE PLANTS LEAVES' COVER RELATIVE AREA IN AGROCENOSES**

© 2017. N.A. Shumova

Water Problems Institute RAS

Russia, 119333, Moscow, Gubkina Str., 3. E-mail: shumova_aqua@rambler.ru

In this article the generalization of the published data of the plants leaves' cover biometrical parameters in agrocenoses is presented. The main index of the plants cover is the leaves' relative area. The method and results of the agrocenosis leaves' relative area measuring are put here in detail. The method of calculating the relative area of the grain crops' leaves, which is based on the usage of standard hydro-meteorological data, is developed. The common vegetation periods (their beginning and duration) and the maximal values of leaves' relative area (for species and geosystems, as well) are presented.

Keywords: leaves' relative area, plants, agrocenoses, active layer.