

Министерство сельского хозяйства РФ

ФГБОУ ВПО «Брянская государственная  
сельскохозяйственная академия»

**В.Е. Ториков, С.М. Пакшина, В.В. Ториков**

**УСТОЙЧИВОСТЬ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ  
К СТРЕССОВЫМ ФАКТОРАМ СРЕДЫ**

**Брянск 2014**

УДК 631.4:581.1

ББК 42.112

Т 60

**Ториков В.Е. Устойчивость ярового ячменя к стрессовым факторам среды: научное издание. / В.Е. Ториков, С.М. Пакшина, В.В. Ториков. - Брянск.: Издательство Брянской ГСХА, 2014. – 71 с.**

В научном издании рассматриваются теоретические вопросы взаимосвязи фитоклиматологических факторов среды, транспирации посевов, водного и питательного режимов с продуктивностью ярового ячменя.

Показано, что растение регулирует поглощение фотосинтетически активной радиации в зависимости от влагообеспеченности и дозы удобрения.

Обоснован механизм действия минеральных удобрений на процесс транспирации.

Для оценки адаптивности культуры к стрессовым факторам среды изложен метод расчета транспирационного расхода воды на биосинтез 1т зерна.

Научное издание предназначено для руководителей и специалистов агрономической службы, а также может быть использовано при обучении студентов-бакалавров, магистров, аспирантов.

*Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией агроэкологического института Брянской ГСХА, протокол № 01 от 11 сентября.*

© Брянская ГСХА, 2014

© Ториков В.Е., 2014

© Пакшина С.М., 2014

© Ториков В.В., 2014

## Содержание

Введение	4
Перечень условных обозначений и сокращений	5
Фитоклиматологические факторы среды	6
Краткая история развития отечественной фитоклиматологии	6
Составляющие солнечной радиации	8
Методы измерения солнечной радиации	12
Фитоклиматологические ресурсы Брянской области	13
Почвенно-климатические и гидрологические условия	20
Биологические особенности ярового ячменя	23
Адаптивность ярового ячменя к стрессовым условиям возделывания	34
Методы исследования	34
Коэффициент использования ФАР (Кфар) посевами ярового ячменя	37
Транспирация посевами ярового ячменя в 2008-2010 годы	41
Краткосрочный прогноз урожайности ярового ячменя на опытном поле Брянской ГСХА	54
Заключение	63
Список литературы	65

## Введение

В качестве объекта исследования были взяты четыре сорта ярового ячменя (Атаман, Визит, Эльф, Гонар), которые выращивались в 2008-2010 годы, характеризующиеся разной влагообеспеченностью и величиной фотосинтетически активной радиации (ФАР). Адаптивность сортов ярового ячменя к стрессовым условиям (недостаток и избыток влаги, низкое и высокое значение суммы ФАР за вегетацию) оценивалась величиной индекса стресса (Hiler E.A., a.o.1974) [52] и транспирационного расхода влаги на биосинтез 1 т зерна [1].

В работе приводятся основные гидрометеорологические (температура, осадки, испаряемость, КУ), фитофизиологические показатели (радиоактивный баланс, ФАР, прямая, рассеянная и суммарная радиация) в течение всей вегетации. Для расчетов транспирации посевов ярового ячменя используется формула Пенмэна (1972) [1]. Эта формула в отличие от известных математических моделей (З.Н. Бихеле, Х.А. Молдау, Ю.К. Росс, 1980; А.И. Будаговский, 1981) включает в себя коэффициент использования ФАР, который равняется доле ФАР, фиксирующейся в сухом веществе в процессе фотосинтеза [2,3].

Для расчетов транспирационного расхода влаги на биосинтез 1 т зерна используется корреляционно-регрессионный анализ связи транспирации с урожайностью зерна.

В работе уделяется внимание обнаруженному в многочисленных исследованиях явлению влияния отдельных удобрений и полного минерального удобрения на процесс транспирации (Д.Н. Прянишников, 1952; М.П. Петухов, 1959; И.М. Липкинд, 1961; К.И. Харченко, 1964, Л.Н. Побережский, 1977) [4,5,6,7,8].

Авторы надеются, что первая попытка создания брошюры такого рода послужит материалом для будущих исследований.

## Перечень условных обозначений и сокращений

- $\sum vH$  – сумма осадков за период вегетации;  
 $\sum vBc$  – сумма суточных значений радиационного баланса за период вегетации;  
 $\sum vQф$  – сумма суточных значений фотосинтетически активной радиации (ФАР) за период вегетации;  
 $\sum vBк$  – сумма суточных значений поглощенной радиации (положительной части радиационного баланса) за период вегетации;  
 $\sum vEc$  – эвапотранспирация за период вегетации;  
 $\sum vEo$  – испаряемость (испарение воды с увлажненной поверхности почвы в данных условиях) за период вегетации;  
КУ – коэффициент увлажнения ( $\sum vH/\sum vEo$ );  
 $\alpha$  – коэффициент влагообеспеченности ( $\sum vEc/\sum vEo$ );  
КФАР – коэффициент использования ФАР, %;  
 $\sum vEt$  – транспирационные потери влаги за период вегетации (суммарная транспирация), мм;  
 $Kt = \sum vEt/U$  – коэффициент транспирации;  
У – урожайность абсолютно - сухого зерна, т/га;  
 $\sum vEt/\sum vEo$  – индекс стресса.  
S' – прямая радиация;  
D – рассеянная радиация;  
Qi – суммарная (интегральная) радиация;  
Rk – отраженная радиация;  
A – альbedo;  
L – удельная теплота парообразования;  
Eэф – эффективное излучение;  
Ea – излучение атмосферы;  
Eз – собственное излучение земной поверхности;  
Bк – радиационный баланс коротковолновой радиации;  
Bд – радиационный баланс длинноволновой радиации;  
Kф – коэффициент фильтрации;  
BPK – влажность разрыва капиллярной связи;  
ППВ – предельная полевая влагемкость;  
BЗ – влажность завядания;  
Kэт – коэффициент эвапотранспирации;  
МГУ – Московский Государственный Университет имени М. В. Ломоносова.  
БГСХА – Брянская государственная сельскохозяйственная академия;

## **Фитоклиматологические факторы среды Краткая история развития отечественной фитоклиматологии**

Солнечная радиация – основной источник энергии для всех физических процессов, протекающих на поверхности суши, в атмосфере, в мировом океане. Солнечная энергия обуславливает жизнедеятельность организмов, возникновение облаков и осадков, перенос воздушных масс, оказывает влияние на условия существования и деятельности человека.

Выдающийся ученый К.А. Тимирязев открыл роль хлорофилла в зеленом растении, превращающего в процессе фотосинтеза солнечную энергию, которую он называл «космической», в высокоэнергетические органические вещества [9].

Данные о солнечной энергии используются в сельском хозяйстве для решения различных прикладных работ: при выборе оптимальных для данного района сортов сельскохозяйственных культур, сроков проведения полевых работ, для повышения использования солнечной энергии посевами и насаждениями культурных растений.

Для планирования и научно-обоснованного ведения сельского хозяйства необходимо знать составляющие солнечной радиации и уметь регулировать их в посевах, насаждениях, теплицах.

В России первые наблюдения за прямой солнечной радиацией были начаты в Москве в 1881 году метеорологической обсерваторией Петровской сельскохозяйственной академии (Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева – ТСХА). Инициатором этих наблюдений, приложившим много сил для организации обсерватории, был ее первый директор (1879 – 1885 гг.), профессор кафедры земледелия – А.А. Фадеев.

Неудивительно, что наблюдения за солнечной радиацией были начаты в учреждении, связанном с сельским хозяйством. Уже тогда пришло понимание того, что исследование солнечной радиации имеет не только научное, но и практическое значение.

В 1889 году в обсерватории Петровской сельскохозяйственной академии были начаты наблюдения за продолжительностью солнечного сияния. С 1909 года начались регулярные актинометрические наблюдения. С 1924 года в этой обсерватории появляются приборы для регистрации прямой (актинограф Савинова), а затем и рассеянной солнечной радиации, проводятся измерения эффективного излучения. Актинометрические наблюдения в ТСХА проводились почти непрерывно до 1941 года. В 1945 году они были восстановлены и продолжались до 1950-х годов.

Самым значительным событием для развития актинометрических наблюдений в России было изобретение в 1906 году выдающимся ученым-физиком, профессором Петровской сельскохозяйственной академии В.А. Михельсоном (1860 – 1927) пластинчатого (биметаллического) актинометра, наиболее современного для того времени прибора. Простота и высокая точность способствовали его широкому распространению не только в России, но и за рубежом. Изобретение этого прибора позволило начать регулярные измерения солнечной радиации. Появление простого, с высокой точностью измерения прибора способствовало развитию сети актинометрических станций в России [10].

Метеостанция Брянской ГСХА была создана в 2004 году по инициативе профессоров БГСХА Н.М. Белоуса и М.Е. Васильева, которые приложили много сил для ее организации. На метеостанции, помимо стандартных метеорологических наблюдений, с сентября 2005 года проводятся актинометрические наблюдения за потоками прямой, рассеянной и отраженной радиации. Метеостанция БГСХА

– единственная из метеостанций Брянской области, в которой ведутся актинометрические наблюдения. Ближайшими к Брянской области метеостанциями, на которых проводятся измерения солнечной радиации, являются Смоленская и Минская.

### **Составляющие солнечной радиации**

Важной составляющей солнечной радиации является фотосинтетически активная радиация (ФАР), под действием которой осуществляется фотосинтез зелеными растениями. В процессе фотосинтеза растение использует не весь спектр солнечной радиации, а только его часть (фотосинтетически активная радиация). В разных странах в область ФАР включают разные интервалы длины волн. В Западной Европе и США эта область в интервале волн, равных 400 – 700 нм, в Японии – 395 – 715 нм. В России, согласно решению рабочего совещания по вопросам измерения оптического излучения для целей агрометеорологии, экологии и физиологии растений (1961 г.), ФАР включает интервал длины волн, равный 380 – 710 нм. В некоторых работах за фотосинтетически активную радиацию принимается область спектра в интервале длины волн 300 – 700 нм [10].

Иногда выделяется еще физиологически активная радиация (ФАР) в интервале длин волн 305 – 750 нм. Лучистая энергия этой радиации является источником энергии для всех фотохимических процессов в растениях и используется ими как для фотосинтеза, так и для регуляции многообразных физиологических процессов [11].

Информация о ФАР используется во многих отраслях народного хозяйства: в земледелии и растениеводстве, в тепличном хозяйстве, при прогнозировании продуктивности растений, фитопланктона в водоемах, при изучении круговорота углерода в природе.



Изучение фотосинтетически активной радиации было начато еще в конце XIX века, когда перед ботаниками и физиологами растений встал вопрос о «световом довольствии» растений. основополагающие исследования в области фитоактинометрии в 1950 - 1970-х годах были проведены в СССР (Х. Тооминг, Ю. Росс, Х. Молдау, Б.И. Гуляев, Н.И. Гойса, Н.А. Перелет, Н.А. Ефимова, А.А. Федюшкин, В.П. Беденко и др.), а в 1970 – 1980-х годах – зарубежными исследователями [10].

Для расчета фотосинтетически активной радиации Б.И. Гуляевым, Н.А. Ефимовым, Х.Г. Тоомингом было предложено следующее уравнение:

$$\sum Q_{\phi} = 0,43 \sum S' + 0,57 \sum D, \quad (1)$$

где  $\sum S'$  - сумма прямой радиации, приходящей на горизонтальную поверхность;  $\sum D$  – сумма рассеянной радиации за определенный период (час, сутки, пентада, декада, месяц, вегетационный период, год) [12].

Приход прямой солнечной радиации ( $S'$ ) зависит от высоты Солнца над горизонтом, которая меняется как в течение суток, так и года. Это обуславливает суточный и годовой ход прямой радиации.

Рассеянная радиация ( $D$ ) зависит от высоты Солнца и загрязненности атмосферы. Чем больше высота Солнца и выше загрязненность атмосферы, тем больше поток рассеянной радиации. Облака, не закрывающие солнце, увеличивают приход рассеянной радиации по сравнению с ясным небом. Зависимость прихода рассеянной радиации от облачности сложная. Она определяется видом и количеством облаков, их вертикальной мощностью и оптическими свойствами.

Суточный и годовой ход рассеянной радиации при ясном небе соответствует ходу прямой радиации. Однако

утром рассеянная радиация появляется еще до восхода Солнца, а вечером – и после заката. В годовом ходе максимум рассеянной радиации наблюдается летом.

Сумму рассеянной ( $D$ ) и прямой ( $S'$ ) радиации, падающей на горизонтальную поверхность, называют суммарной (интегральной) радиацией ( $Q_{и}$ ):

$$Q_{и} = S' + D \quad (2)$$

Соотношение между прямой и рассеянной радиацией в составе суммарной радиации зависит от высоты солнца, облачности и загрязненности атмосферы. Чем прозрачнее атмосфера, тем меньше доля рассеянной радиации. При сплошной облачности суммарная радиация полностью состоит из рассеянной радиации.

Приход суммарной радиации при наличии облачности меняется в больших пределах. Наибольший приход  $Q_{и}$  наблюдается при ясном небе или небольшой облачности, не закрывающей солнца.

Часть суммарной радиации, приходящей к деятельному слою Земли, отражается от него. Деятельным слоем (поверхностью) называют тонкий слой, в котором происходит поглощение солнечной радиации, последующее нагревание и излучение. При отсутствии растительного покрова толщина деятельного слоя изменяется от долей миллиметра до нескольких сантиметров. Растительный покров составляет деятельный слой, толщина которого определяется высотой растений [10].

Отношение отраженной части радиации  $R_{к}$  ко всей приходящей суммарной радиации к деятельному слою ( $Q_{и}$ ), называют отражательной способностью, или альбедо ( $A$ ) данной поверхности:

$$A = (R_{к}/Q_{и}) \cdot 100 \% \quad (3)$$

Прямая ( $S'$ ), рассеянная ( $D$ ) и отраженная ( $R_k$ ) радиации сосредоточены в коротковолновой области спектра, имеющей длину волн, равную  $0,3 - 4$  мкм ( $300 - 4000$  нм). Вне этих пределов остается менее  $1\%$  полного излучения Солнца.

Тепловые излучения деятельной поверхности и земной атмосферы составляют длинноволновую радиацию, характеризующуюся длинами волн, равных  $4 - 100$  мкм ( $4 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^5$  нм) [13].

Земная поверхность непрерывно получает и теряет тепло в результате воздействия потоков коротковолновой и длинноволновой радиации. Результирующей величиной прихода и расхода радиации является радиационный баланс ( $B$ ). Величиной и знаком « $B$ » определяется тепловое состояние земной поверхности и приземного слоя воздуха – их нагревание или охлаждение [14].

Приходная часть радиационного баланса состоит из прямой ( $S'$ ) и рассеянной ( $D$ ) радиаций, а также встречного излучения атмосферы ( $E_a$ ), расходная часть – из отраженной радиации ( $R_k$ ) и излучения земной поверхности ( $E_3$ ). Уравнение радиационного баланса имеет следующий вид:

$$B = [(S' + D) - R_k] - E_{\text{эф}}, \quad (4)$$

где  $E_{\text{эф}}$  – эффективное излучение, характеризующее потерю тепла земной поверхностью и равное разности между ее собственным излучением и встречным излучением атмосферы ( $E_a - E_3$ ). В зависимости от соотношения приходной и расходной частей радиационный баланс может быть как положительным, так и отрицательным. Ночью радиационный баланс становится равным балансу длинноволновой радиации, так как  $B_k = 0$ . Суточное значение радиационного баланса равно сумме радиационных балансов коротковолновой и длинноволновой радиации ( $B_c = B_k + B_d$ ) [12].

## Методы измерения солнечной радиации

Для измерения потоков солнечной радиации применяются абсолютные и относительные приборы. Абсолютные приборы (пиргелиометры) применяют для тарировки и поверки относительных приборов.

Из относительных приборов широко используются термоэлектрические приборы: актинометр, балансомер, пиранометр и альбедометр. Приемником солнечной радиации у приборов служат термобатарей, составленные из манганита и константана. В зависимости от интенсивности радиации между спаями термобатарей создается разность температур и возникает электрический ток различной силы, который измеряется гальванометром. Для перевода делений шкалы гальванометра в абсолютные единицы применяются переводные множители, которые определяются для данной пары.

Для измерения суммарной и рассеянной радиации, приходящейся на горизонтальную поверхность, используется пиранометр Янишевского. При определении рассеянной радиации ( $D$ ) пиранометр затеняется от прямой радиации тенью экраном. При измерении суммарной радиации теневой экран отводится в сторону. Измерив суммарную ( $Q_{\text{и}}$ ) и рассеянную ( $D$ ) радиацию, рассчитывается прямая радиация ( $S'$ ), приходящая на горизонтальную поверхность по формуле:  $S' = Q_{\text{и}} - D$ .

Измерения рассеянной ( $D$ ) и отраженной ( $R_{\text{к}}$ ) радиации проводят по пиранометру М-80. Для измерения прямой радиации, приходящей на поверхность, перпендикулярную солнечным лучам, служит актинометр термоэлектрический Савинова – Янишевского. Для измерения суммарной радиации, приходящей на горизонтальную поверхность, используется актинометр М-3.

Измерения суммарной ( $Q_{\text{и}}$ ) и отраженной ( $R_{\text{к}}$ ) радиа-

ции проводят пиранометром М-80 при разных положениях приемной части прибора. При положении приемной части прибора вверх измеряется суммарная радиация, а при положении вниз измеряется отраженная радиация ( $R_r$ ).

Для измерения радиационного баланса ( $B$ ) служит балансомер Янишевского, который принят на сети актинометрических станций России в качестве основного прибора для измерения. Точность измерений радиационного баланса балансомером Ю.Д. Янишевского составляет 15 %. Радиационный баланс определяется как сумма ( $B - S'$ ), полученная по затененному балансомеру по данным регистрации, и прямой солнечной радиации ( $S'$ ), поступающей на горизонтальную поверхность:  $B = (B - S') + S'$  [10].

Фотосинтетически активная радиация (ФАР) рассчитывается по формуле (1) или по данным о ФАР с помощью спутников. Для этого используются переводные коэффициенты.

В Метеорологической обсерватории МГУ было разработано несколько эмпирических методов расчета ФАР по данным измерений, как актинометрических, так и метеорологических [10].

## **Фитоклиматологические ресурсы Брянской области**

Информация о фитоклиматологических ресурсах Брянской области необходима для решения различных задач в земледелии, растениеводстве, физиологии растений, ботанике. Она позволяет определить возможные максимальные и минимальные значения фотосинтетически активной радиации, коэффициентов использования ФАР, коэффициентов транспирации сельскохозяйственных культур Брянской области. Кроме того, эта информация позволяет определить оптимальный водный и питательный режим почв для достижения максимального значения  $K_{\text{ФАР}}$ .

В данной главе рассматривается изменчивость по годам месячных сумм суммарной и поглощенной радиации ( $B_k$ ), ФАР, а также месячный ход отношения прямой к рассеянной радиации в период вегетации за 2008 – 2012 гг.

Установлено, что режим радиации формируется высотой Солнца (астрономический фактор) и облачностью (циркуляционный фактор). Первый фактор приводит к тому, что от декабря к июню, следуя за ходом Солнца, часовая сумма в среднем монотонно возрастает. Околополуденные суммы ФАР в течение года увеличиваются в среднем в 5-6 раз.

Облачность нарушает симметрию суточного хода, обусловленного влиянием астрономического фактора, особенно в весенне-летнее время за счет развития облачности во второй половине дня [10].

Поэтому, было исследовано соотношение между прямой ( $S'$ ) и рассеянной ( $D$ ) радиацией в вегетационные периоды разных лет. На рисунке 1 представлен месячный ход отношения суточных сумм прямой радиации к суточным суммам рассеянной радиации в разные годы.

Как следует из рисунка 1, при сухой и безоблачной погоде в 2008 году прямая радиация превосходила рассеянную в 4-6 раз в течение вегетации. В дождливую и облачную погоду летом 2009 года величина  $\sum_m S'$  превосходила  $\sum_m D$  лишь в 2,5 раза. При задымлении атмосферы в 2010 году, вызванного возгоранием торфяников, наблюдается резкое уменьшение прямой солнечной радиации по сравнению с рассеянной радиацией. Отношение  $\sum_m S'/\sum_m D$  в 2010 году изменялось в интервале значений 0,6-1,8.

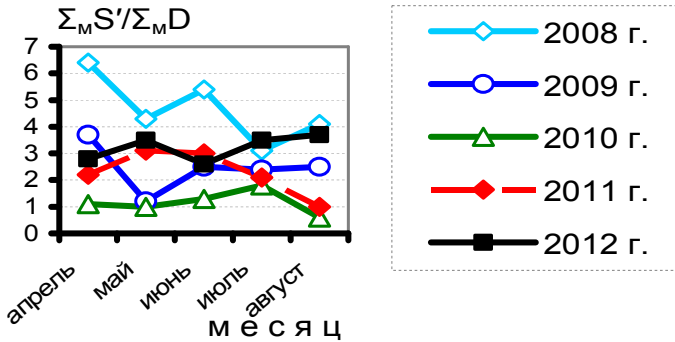


Рис. 1. Месячный ход отношения суточных сумм прямой к суточным суммам рассеянной радиации ( $\Sigma_M S' / \Sigma_M D$ ) в период вегетации в разные годы

Таким образом, облачность и в гораздо большей степени дымная мгла снижает величину прямой солнечной радиации, которая является наиболее биологически активной.

На рисунке 2 представлен месячный ход суточных сумм суммарной радиации в период вегетации культур в 2008 – 2012 гг.

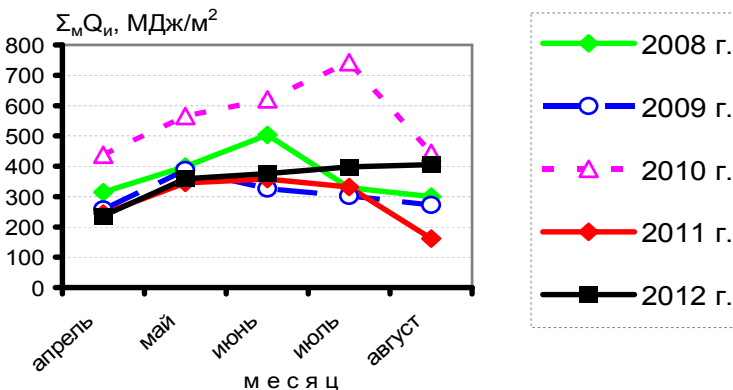


Рис. 2. Месячный ход суточных сумм суммарной радиации ( $\Sigma_M Q_{и}$ , МДж/м²) в вегетационные периоды разных лет

Как следует из рисунка 2, максимальные значения суммарной радиации ( $\Sigma_m Q_{и}$ ) в разные годы не совпадают по времени. В 2009 году максимум  $\Sigma_m Q_{и}$  приходился на май, в 2008 и 2011 годах – на июнь, в 2010 и в 2012 годах – на июль. Максимальный приход суммарной радиации, который составил 743 МДж/м<sup>2</sup> в 2010 году, тогда как в 2008, 2009, 2011, 2012 гг. максимум составлял соответственно 503, 387, 358, 398 МДж/м<sup>2</sup>.

На рисунке 3 представлен месячный ход суточных сумм поглощенной радиации в период вегетации растений в разные годы.

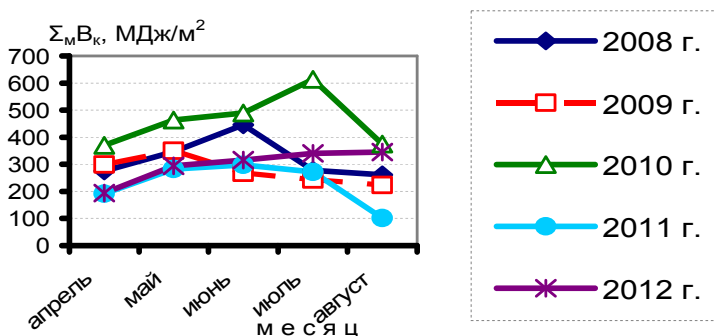


Рис. 3. Месячный ход суточных сумм поглощенной радиации ( $\Sigma_m B_k$ , МДж/м<sup>2</sup>) в период вегетации растений в разные годы

Из рисунка 3 следует, что максимумы значений радиационного баланса коротковолновой (поглощенной) радиации по времени совпадают с максимальными значениями суммарной радиации.

На рисунке 4 представлен месячный ход суточных сумм ФАР ( $\Sigma_m Q_{ф}$ ) в течение вегетации культур в разные годы.



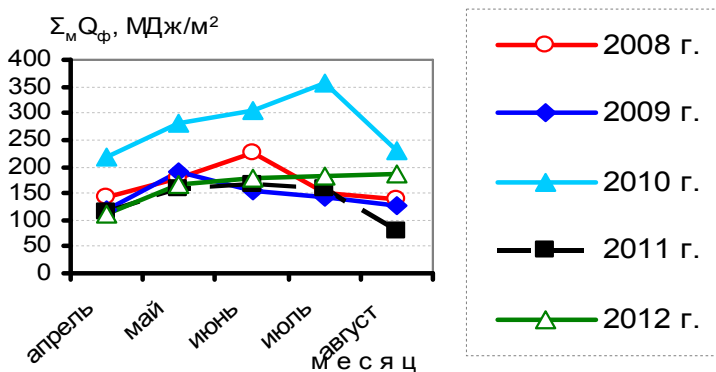


Рис. 4. Месячный ход суточных сумм ФАР ( $\Sigma_m Q_{\phi}$ , МДж/м<sup>2</sup>) в вегетационные периоды разных лет

Как следует из рисунка 4, по величине ФАР разные годы незначительно отличаются друг от друга. Исключение составляет засушливый 2010 год. Следует отметить, что максимум ФАР в месячном ходе по времени совпадают с максимумами суммарной и поглощенной радиации.

Для определения максимальных значений  $V_k$  и ФАР в суточном ходе были построены графики зависимости  $Q_{\phi}$  и  $V_k$  от времени срочных наблюдений. На рисунке 5 представлен суточный ход значений  $V_k$  15 июня в разные годы.

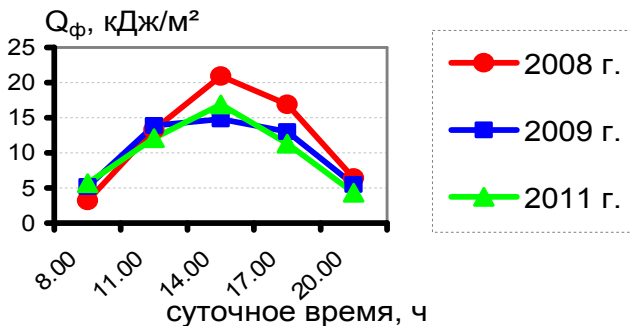


Рис. 5. Суточный ход срочных значений ФАР ( $Q_{\phi}$ , кДж/м<sup>2</sup>) в 2008-м, 2009-м и 2011-м годах

На рисунке 6 представлен суточный ход значений  $V_k$ , (кДж/м<sup>2</sup>·мин) 15 июня в разные годы.

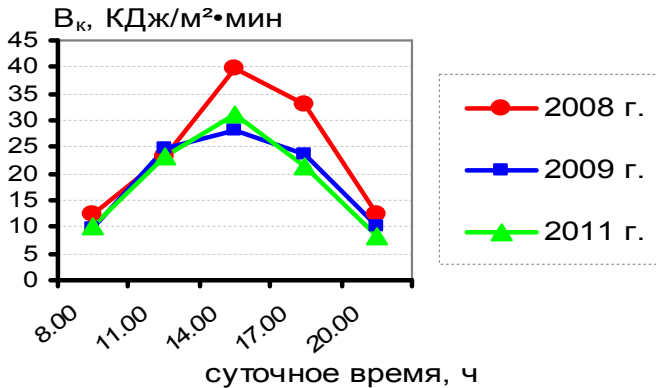


Рис. 6. Суточный ход срочных значений поглощенной радиации ( $V_k$ , кДж/м<sup>2</sup>·мин) 15 июня 2008, 2009 и 2011 годов

Как следует из рисунков 5 и 6, значения  $Q_\phi$  и  $V_k$  достигают максимума в 14 часов по местному времени или в полуденное – по солнечному времени.

Для выяснения возможности сдвига максимума на другое время суток были построены графики зависимости срочных наблюдений ФАР в один конкретный день (15 число), но в разные месяцы (апрель, май, июль, август) 2008 года. На рисунке 7 представлен ход ФАР по срочным наблюдениям 15 числа апреля, мая, июля и августа 2008 года при безоблачном небе.

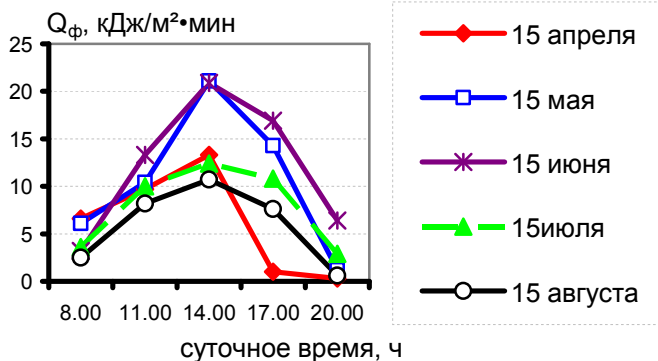


Рис. 7. Суточный ход срочных значений ФАР ( $Q_{\text{ф}}$ , кДж/м<sup>2</sup>•мин) 15 числа разных месяцев в 2008-м году

Как следует из рисунка 7, за весь период вегетации культур при безоблачном небе величина ФАР достигает максимального значения в 14 часов по местному времени. Наибольшее значение максимум ФАР достигает в мае и в июне года; в июле и августе значение ФАР резко снижается. Таким образом, в суточном ходе ФАР в 2008 году максимум не смещался на более ранние или поздние часы относительно полудня по солнечному времени. В этот год облачность не нарушала симметрию суточного хода, обусловленного влиянием астрономического фактора.

На рисунке 8 представлен ход ФАР по срочным наблюдениям за 15 число апреля, мая, июля и августа 2009 года, который характеризовался наличием облачности и частыми дождями в течение вегетации.

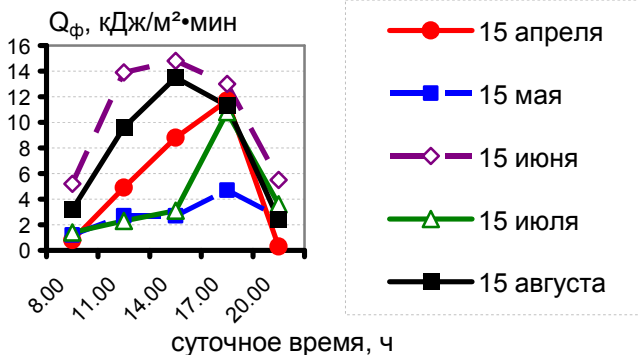


Рис. 8. Суточный ход срочных значений ФАР ( $Q_{\phi}$ , кДж/м<sup>2</sup>•мин) 15 числа разных месяцев в 2009-м году

Как следует из рисунка 8, наличие облачности нарушает симметрию суточного хода ФАР, наблюдается сдвиг от 14 часов к 17 часам по местному времени. В августе 2009 года величина ФАР достигала максимума к 14 часам, тогда как в апреле, в мае и в июле величина максимума достигала к 17 часам местного времени.

### Почвенно-климатические и гидрологические условия

Исследования проводили в Выгоничском районе Брянской области, на территории опытного поля Брянской государственной сельскохозяйственной академии в 2008-2010 годы.

Климат Выгоничского района, как и всей Брянской области, умеренно континентальный с достаточным увлажнением, теплым летом и умеренно холодной зимой.

По сумме активных температур воздуха выше 10°C ( $\sum t > 10^{\circ}\text{C}$ ) Выгоничский район находится в северной части полосы культур средней спелости. Все основные выращи-

ваемые культуры хорошо обеспечены теплом, лишь кукуруза не всегда высевает до молочной спелости, не всегда полностью созревают томаты и поздние сорта люпина [15].

По данным Метеостанции БГСХА величина  $\sum t > 10^{\circ}\text{C}$  в период вегетации озимых культур (апрель – 1 декада августа) в среднем за 2008 – 2012 годы составила  $1754^{\circ}\text{C}$  [16].

Была выполнена оценка теплообеспеченности серых лесных легкосуглинистых почв опытного поля БГСХА. Для этого рассчитывалась сумма активных температур ( $>10^{\circ}\text{C}$ ) почвы на глубине 0,2 м,  $^{\circ}\text{C}$ . Согласно классификации (1972 г.), теплообеспеченность культур хорошая [17].

Влагой все культуры обеспечены неплохо: зерновые на 85 – 100%, картофель на 70 – 80% от оптимального уровня. Но для зерновых после колошения в 10 – 30% лет запасы воды в почве недостаточны, а в 30 – 40% лет превышают оптимальный уровень, что способствует полеганию хлебов, развитию вредителей и болезней [15].

При снежном покрове выше 10 см температура почвы на глубине узла кущения почти никогда не опускается до критических значений ( $-16\dots-18^{\circ}\text{C}$ ) для сортов озимой пшеницы, ( $-22\dots-25^{\circ}\text{C}$ ) для ржи. Лишь при температуре воздуха ниже  $-26^{\circ}\text{C}$  и снежном покрове менее 15 см озимые могут вымерзнуть, но такие условия бывают редко (5 – 10 лет). Повреждение озимых от вымокания незначительно [15].

По данным Метеостанции БГСХА в 2008 – 2012 годах температура почвы на глубине узла кущения не опускалась ниже  $-5^{\circ}\text{C}$  [16].

Суховеи имеют среднюю интенсивность. Интенсивные суховеи, приводящие к увяданию растений и захвату зерна, наблюдаются раз в 15-20 лет [15].

По данным Метеостанции БГСХА в 2008 – 2012 годах относительная влажность воздуха в течение вегетации в среднем равнялась 68 – 74% [16].

Территория опытных полей БГСХА расположена на

юго-восточном склоне возвышенного Деснинско-Судостского междуречья и в пойме реки Десны. Основной земельный массив представляет собой полого-волнистую равнину, заметно расчлененную овражно-балочной сетью.

Рельеф территории опытных полей Брянской ГСХА позволяет нарезать крупные поля севооборотов и высокопроизводительно использовать сельскохозяйственную технику. Западинность снижает производительность техники и продуктивность отдельных полей.

Из материнских пород наибольшее распространение на территории опытных полей БГСХА получили лессовидные суглинки. Лессовидные суглинки представляют собой однородную слабоуплотненную палево-бурую породу легкосуглинистого гранулометрического состава. Из механических фракций преобладает крупная пыль. Легкосуглинистым гранулометрическим составом обусловлено слабоуплотненное сложение, хорошая водопроницаемость, средняя влагоемкость и емкость поглощения лессовидных суглинков. Однако, эти породы очень податливы просадке и размыву.

Важнейшее химическое свойство лессовидных суглинков, способствующее формированию плодородных почв серого лесного типа – слабощелочная реакция и богатство карбонатами кальция и магния, которые вымыты до глубины 120 – 200 см и более.

Грунтовые воды на водоразделах залегают на глубине 5 – 10 м и существенного влияния на почвы и растительность не оказывают. Водоупором для грунтовых вод почти на всей территории водоразделов служат плотные породы: опока, известковистый трепел, мергель.

Основным типом почв опытных полей БГСХА являются серые лесные почвы. Они залегают крупными, почти сплошными массивами на водоразделах и пологих склонах в центральной и юго-восточной части землепользования.

Отрицательным свойством некоторых пахотных се-

рых лесных почв является неравномерная мощность гумусового горизонта на разных элементах микрорельефа. При вспашке они подвергаются механической эрозии, на микроповышениях мощность гумусового горизонта намного уменьшена, пахотный слой часто имеет буроватый оттенок. Это приводит к неравномерному распределению питательных веществ и влаги, снижает общую продуктивность полей. В наибольшей степени водной эрозии подвержены почвы на лессовидных суглинках, которые легко дают просадку, образуя микрозападины [15].

### **Биологические особенности ярового ячменя**

Яровой ячмень - важная продовольственная, кормовая и техническая культура. В зависимости от сорта зерно содержит 7-15% белка, 65% углеводов, 2% жира, 5-5,5% клетчатки и 2,5-2,8% золы. Из него изготавливают муку, перловую и ячменную крупу, суррогат кофе. Белок ячменя содержит все незаменимые аминокислоты, включая особо дефицитные и наиболее ценные - лизин и триптофан. Существуют сорта, в протеине которых содержится 4,5-4,9% лизина. Зерно широко применяют в качестве концентрированного корма (в 1кг содержится 1,27 корм.ед и 100г переваримого белка) для животных всех видов, особенно для откорма свиней (удельный вес его в составе комбикорма достигает 50%). Высокое содержание в зерне ячменя гордеина способствует подавлению развития грамположительных бактерий, что благоприятно сказывается на здоровье животных.

Зерно ячменя - отличное сырье для пивоваренной промышленности. Особенно ценными для приготовления пивного солода считаются сорта двурядного ячменя, отличающиеся крупным выровненным зерном с крупнозернистым пластидным крахмалом, состоящим из амилозы и амилопектина, с пониженной пленчатостью (8-10%), со-

держанием экстрактивных веществ более 78-82% и высокой энергией прорастания (более 95%) [18].

В условиях юго-западных районов Центрального региона России яровой ячмень является наиболее скороспелой и пластичной культурой, способной формировать высокую продуктивность. Он является надежной культурой, способной максимально использовать биоклиматический потенциал для формирования урожая зерна высокого качества. При этом технология возделывания ярового ячменя должна базироваться на удовлетворении биологических требований сорта. Только при эффективном действии важнейших факторов биологизации земледелия: подбора наиболее адаптивных, пластичных и стабильных по продуктивности сортов; сбалансированности по элементам питания вносимых минеральных удобрений, активизации почвенных биологических процессов за счет внесения навоза, использования пожнивных остатков, соломы, сидеральных культур на удобрение и посев бобовых культур в системе плодосменного севооборота можно получать высококачественное зерно, пригодное для приготовления пива, крупы и комбикормов [19].

Ячмень хорошо растет и развивается на почвах легко-, средне- и легкосуглинистого гранулометрического состава со слабокислой реакцией почвенного раствора рН не ниже 5,5 и мощностью гумусового горизонта 40 см и более, с повышенным содержанием подвижного фосфора и обменного калия, с благоприятными агрофизическими свойствами [20].

Г.М. Дериглазова (2010) отмечает, что в условиях Курской области ячмень наиболее целесообразно размещать после культуры, не вызывающей его полегание и не способствующей накоплению в зерне большого количества белка. К таким предшественникам относят кукурузу, картофель, рапс. Лучшие предшественники для возделывания



ярового ячменя те культуры, которые оставляют после себя чистые от сорняков поля с высоким содержанием доступных питательных веществ. Посев пивоваренного ячменя после гороха, вики, клевера, люцерны не допускается. Нужно не забывать, что предшественник не гарантирует получение урожая нужного качества, а только создает для этого предпосылки. Ячмень лучше возделывается после пропашной культуры [21].

М.А. Кадыров (2005) отмечает, что сорта Института земледелия и селекции НАН Беларуси, имея генетический потенциал более 10 т/га, в производстве его реализуют на 30-40%. Соблюдая технологию их возделывания, можно получать от 3 до 7 т/га зерна. Влияние погодных условий на урожай ячменя неоспоримо и высокозначимо. Основные элементы структуры урожая - число колосьев на 1 м<sup>2</sup>, число зерен в колосе и масса 1000 зерен требуют для полноты своей реализации благоприятных условий среды. В последние годы высока вероятность краткосрочных засух в период налива, дефицит влаги приводит к значительному снижению массы зерна, биологической и хозяйственной урожайности ячменя [22].

Для получения гарантированной урожайности зерна ярового ячменя, его следует выращивать по технологическим программам, построенным на научно-обоснованном учете степени влияния на урожай основных факторов жизни растений, складывающихся из климатических факторов, уровня потенциального плодородия почвы, генетических возможностей культуры и сорта. При этом важно знать биологические особенности рекомендуемых для производства сортов [23].

Для полного развития ячменя требуется сумма активных температур - 1000-1500°С - для скороспелых сортов и 1800-2000°С - для позднеспелых.

Имея короткий вегетационный период, ячмень наибо-

лее продуктивно использует и экономно расходует запасы зимне-весенней влаги, и успевает сформировать зерновку в первой половине лета до начала наступления сухой и жаркой погоды. Наибольшее количество воды ячмень потребляет в периоды выхода в трубку и колошения. Повышенная влажность и умеренная температура воздуха в фазе кущения способствуют лучшему формированию и росту вторичной (узловой) корневой системы и образованию большего количества побегов, благодаря чему в дальнейшем растения смогут полнее использовать почвенное плодородие и влагу, сформировать более высокий урожай [24].

В последнее время лимитирующим фактором роста урожайности зерна является недостаток влаги в период образования репродуктивных органов. Кратковременная засуха оказывает губительное действие на пыльцу ячменя. Стерильность части пыльцы ведет к увеличению числа бесплодных цветков и снижению зерновой продуктивности [22].

Ячмень хорошо приспосабливается к различным условиям выращивания, в то же время, он отличается повышенной требовательностью к плодородию почвы. Наиболее пригодны для возделывания ячменя плодородные, структурные почвы с нейтральной реакцией ( $pH=6,8-7,5$ ). Ячмень плохо переносит избыточное увлажнение. На заболоченных почвах он дает низкие урожаи. Хуже растет на легких песчаных почвах [25].

У ячменя, в отличие от других зерновых культур, поглощение основных элементов питания происходит за короткий период. Ко времени выхода в трубку он потребляет почти 67 % калия, используемого за весь вегетационный период, до 46 % фосфора и значительное количество азота. К началу цветения поглощение питательных веществ почти заканчивается. Для получения высоких урожаев этой культуры очень важно, чтобы растения были обеспечены в полной мере доступными элементами с самого начала их

развития. Компенсировать недостаток питания позже практически невозможно. Такая биологическая особенность определяет специфику применения удобрений [26].

А.П. Смирнов, Э.Н. Садовская, И.П. Стокозов (2010) в условиях лизиметрического стационара установили, что потребление растениями элементов минерального питания в значительной степени зависит от количества вносимых доз удобрений и биологических особенностей сорта, почвенных и погодных условия [27].

Из-за слаборазвитой корневой системы, отличающейся относительно низкой усваивающей способностью, а также короткого периода интенсивного потребления питательных веществ, ячмень предъявляет повышенные требования к условиям произрастания, особенно в первый период вегетации. Одно из условий, обеспечивающих хорошее развитие растений, правильный подбор предшественников [28].

При правильном применении минеральных удобрений значительно повышается урожай ярового ячменя, возрастает устойчивость растений к засухе, болезням, вредителям, улучшаются кормовые качества зерна. При недостатке элементов питания, в первые 15-30 дней после посева — задерживается рост и развитие растений, нарушается нормальный процесс образования углеводов и формирование генеративных органов, ослабляется устойчивость к полеганию и болезням, существенно снижается урожай [29].

Важно отметить, что при выращивании ярового ячменя на пивоваренные цели на плодородных почвах достаточно вносить 40 кг/га азотных удобрений. При повышении ее до 60 кг/га качество зерна ухудшается из-за увеличения содержания белка и снижения экстрактивности [30].

Ячмень, имея короткий период потребления элементов питания, лучше отзывается на минеральные удобрения, чем на органические. Его чаще всего размещают второй культурой после унавоженных пропашных культур. В этом

случае очень хорошо используется последствие органических удобрений [19].

Ячмень хорошо отзывается на внесение микроудобрений, которые активизируют ферменты, ускоряющие биохимические процессы в растительном организме, повышают устойчивость растений к болезням и засухе.

Важнейшей основой биологизации земледелия остается севооборот. Одна из множества функций, выполняемых севооборотом, - фитосанитарная. При построении севооборотов важно установить чередование культур, различающихся по биологическим особенностям и технологии возделывания, которое препятствовало бы росту и развитию сорных растений [31]. Правильно составленный севооборот снижает общую засоренность культур сплошного сева в 3-4, а пропашных - в 2 раза, способствует подавлению наиболее опасных многолетних корнеотпрысковых сорняков [32]. Из всех изучаемых в опыте культур, влияние севооборота на сорный компонент растительного сообщества проявилось наиболее заметно в посевах ячменя. В среднем за годы исследований, при выращивании этой культуры в плодосменном севообороте, где предшественником ячменя был горох, в предуборочный период количество сорняков было меньше, чем в зернопропашном и зернопаропропашном сидеральном севооборотах, где ячмень следовал за кукурузой на силос, соответственно в 2,9 и 2,6 раза. Наибольшую массу сорняки накапливали в зернопаропропашном сидеральном севообороте. Ценность гороха как предшественника заключается, прежде всего, в том, что он способен к симбиотической азотфиксации. Поэтому ячмень, посеянный после него, быстрее наращивал вегетативную массу и лучше конкурировал с сорняками [33].

Исследования И.Г. Власенко и Т.П. Садохина (2010) показали, что с помощью агротехнических мероприятий можно значительно снизить объем применения химиче-

ских средств защиты в посевах ячменя. Так, ранний срок посева ячменя позволяет культуре наиболее эффективно использовать продуктивную влагу, накопленную в почве в осенне-зимний период, и пройти критические фазы развития (кущение - выход в трубку) до засухи. Такие интенсивно развивающиеся растения меньше страдают от болезней, вредителей и сорняков. Смещение посевных работ на максимально ранний срок приводит к снижению индекса развития корневых гнилей в 1,8-5,1 раза, пятнистостей - в 2,2-3,2 раза. Потери урожая от болезней падают с 5,0- 7,8 до 2,9-3,9 %. И если от протравливания семян перед посевом отказываться нежелательно, то в опрыскивании растений против листостебельных инфекций при раннем сроке сева нет необходимости. Посев ячменя в ранний срок, оптимизация минерального питания культуры, протравливание семян и надежная защита всходов от вредителей позволяют полностью исключить в дальнейшем применение гербицидов [34].

Посев ячменя в ранние сроки позволяет значительно сократить применение пестицидов, отказаться от дополнительных предпосевных культиваций, необходимых при более поздних сроках посева, перейти к минимизации зяблевой обработки почвы. Обязательным остается лишь протравливание семян, а необходимость опрыскивания посевов против хлебной полосатой блошки определяется по результатам фитосанитарной диагностики.

А.Ф. Мельник и др. (2006) констатируют, что одним из вариантов решения задачи биологизации производства зерна является широкое использование биологических и агроэкологических факторов земледелия (высокопродуктивные сорта, использование соломы на удобрение, сидерация и т.д.) при полной реализации сортовых адаптивных технологий возделывания ячменя [35].

Итак, использование всех факторов биологизации -

это наиболее дешевый путь повышения плодородия почв, снижения загрязнения окружающей среды, повышения урожая и качества продовольственного зерна ячменя.

Сорта ярового ячменя, используемые в адаптивной ресурсосберегающей технологии, должны иметь высокую потенциальную урожайность, устойчивость к полеганию, к поражению болезнями, отличаться высокой отзывчивостью на применение средств химизации. В хозяйстве необходимо возделывать сорта разной скороспелости, которые можно использовать как на крупяные, пивоваренные, так и на кормовые цели [20].

Е.Т. Вареница, К.И. Саранин, В.Е. Ториков (1993), И.И. Беляков (1990) и другие ученые отмечают, что сорт является одним из ведущих звеньев технологии, без которого невозможно реализовать достижения науки и техники в земледелии, эффективно использовать удобрения, пестициды, современные системы машин и другие приемы агротехники. При этом сорт, как биологическую систему, нельзя ничем заменить. В условиях интенсификации земледелия сорт становится одним из решающих и необходимых предпосылок получения высокого урожая хорошего качества [36, 29].

Как свидетельствуют данные отечественных и зарубежных исследователей, вклад сорта в достигнутый уровень урожайности составляет до 40 - 50 %. Но иногда новые сорта в производственных условиях не имеют заметного преимущества перед ранее возделываемыми. Каждый сорт дает максимальную отдачу только в определенных условиях возделывания. Сорта с высоким потенциалом продуктивности отличаются и повышенными требованиями к условиям выращивания, так как выносят из почвы больше питательных веществ. На слабокультурных почвах, такие сорта не только не дают прибавки, но и уступают по урожайности менее требовательным экстенсивным сортам.

Сорт с высоким потенциалом продуктивности невыгодно использовать в условиях, где его возможности могут проявиться лишь на 15-20 %. При подборе сортов важно учитывать их устойчивость к наиболее опасным патогенам, избегая применения специальных средств защиты.

При этом важно расширять посевные площади под новыми отечественными сортами пивоваренного ячменя, с высокой адаптацией к условиям произрастания, уступающими сортам зарубежной селекции по урожайности и качеству зерна [37].

В Центральном регионе России выращивается более 40 сортов отечественной и зарубежной селекции различной скороспелости и использования. Наибольшее распространение получили сорта селекции НИИСХ ЦРНЗ [20].

В регионе по площадям посевов первое место занимает среднеспелый сорт Раушан, обладающий высокой адаптивностью и пластичностью. Его можно использовать как на зернофураж, так и для получения высококачественного сырья для приготовления пива и крупы. Сорт устойчив к поражению пыльной головнёй.

Пивоваренный сорт Эльф отличается высокой продуктивностью, устойчив к пыльной головне. Среднеспелый (72-96 дней). Однако, в засушливые годы его урожайность резко снижается.

Пивоваренный сорт Рахат при соблюдении технологии возделывания на пивоваренные цели всегда формирует зерно высокого качества. Сорт характеризуется довольно стабильным содержанием сырого протеина, не выше 12%. Устойчив к полеганию, пыльной головне, обладает крупным, выровненным зерном. Отличается исключительной выравненностью продуктивного стеблестоя.

В Брянской области значительные посевные площади занимают сорта ярового ячменя Белорусского НИИ земледелия и селекции: скороспелый сорт Гастинец, среднеспелый сорт

лые - Криничный, Гонар; среднепоздние - Прима Белоруссии, Атаман, Визит, Сябра, Дивосны, а также селекции Германии - Аннабель, Скарлет, Турингия. Это сорта интенсивного типа возделывания. В Республике Беларусь удельный вес сортов ячменя Белорусского НИИ земледелия и селекции достиг 83 % [38].

Для каждого почвенно-климатического региона выращивания требуются сорта с определенной длиной вегетационного периода. Для северных районов необходимы скороспелые сорта ячменя, устойчивые к пониженным осенним и ранним осенним температурам, гарантирующие ежегодное вызревание культуры [39].

Создание скороспелых сортов — одно из условий получения гарантированных урожаев в северных районах страны и зонах с контрастным климатом (проявление частых засух, возвращение холодов и массовое распространение вредителей), что позволяет растениям избежать воздействия неблагоприятных факторов [40]. Кроме того, скороспелость экономически важна в ходе уборочных работ, а в зонах с круглогодичным использованием пашни - при посеве в качестве промежуточной культуры. Особо актуально создание скороспелых сортов Нечерноземной зоны России [41]. В Эстонии, где ячмень является основной зерновой культурой, 25-30 % посевных площадей приходится на долю скороспелых сортов. В каждом хозяйстве республики выращивают один раннеспелый сорт ячменя и два-три среднеспелых или позднеспелых [42].

Наряду со скороспелыми сортами обязательно надо выращивать и среднеспелые, чтобы за счет взаимодополнения их по отдельным параметрам стабилизировать урожай ячменя повсеместно. Многолетняя агрономическая практика в условиях Сибири, показала, что наиболее адаптивными могут быть сорта с умеренно растянутым периодом всходы-колошение (38-40 дней) и оптимальной про-



должительностью периода колошение - восковая спелость (28-32 дня) [39, 40].

Итак, в связи с модернизацией перерабатывающей промышленности в России, необходимо разрабатывать зональные технологии возделывания сортов ярового ячменя, пригодные для приготовления пива, крупы, комбикормов с высокой адаптацией к условиям произрастания и не уступающим по качеству сортам зарубежной селекции.

В настоящее время повысился спрос на зерно ярового ячменя пивоваренного назначения. Однако из-за низкого качества сырья значительная часть пива производится из зерна зарубежных сортов или импортного сырья. Необходимо резко расширять посевные площади под новыми отечественными сортами пивоваренного ячменя, с высокой адаптацией к условиям произрастания и не уступающими сортам зарубежной селекции.

Удобрение, являясь высокоэффективным средством повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, в определенных условиях может воздействовать на почву и как фактор, повышающий ее плодородие. Под действием минеральных удобрений в пахотном слое почвы увеличивается содержание подвижных форм азота, фосфора и калия, что обеспечивает возможность увеличить естественную продуктивность почв и поднять урожайность культур.

По оценке американских ученых, исключение минеральных удобрений, и в первую очередь азотных, привело бы к сокращению производства зерна в США в два раза [43]. В Нечерноземной зоне РФ урожайность зерновых культур при внесении минеральных удобрений возрастает на 17-50 % [44].

В.Г. Минеев (2004) указывает, что страны с высоко развитым земледелием больше половины урожая зерна получают за счет удобрений. При этом ведущая роль в по-

вышении урожайности принадлежит азотным удобрениям. При недостаточной обеспеченности азотом нарушаются нормальные процессы жизнедеятельности, растения плохо кустятся, формируют слабую листовую поверхность, без чего невозможно получить высокий урожай.

Минеральные удобрения увеличивают содержание в почве подвижного фосфора, нитратного азота и обменного калия лишь в начале вегетации культур. В дальнейшем содержание вышеперечисленных элементов питания находится на уровне показаний естественного агрохимического фона[45].

Совершенствование технологии возделывания ярового ячменя с учетом его биологических и сортовых особенностей позволит значительно повысить урожайность ячменя и увеличить валовой сбор зерна.

## **Адаптивность ярового ячменя к стрессовым условиям возделывания**

### **Методы исследования**

Для исследования устойчивости ярового ячменя к стрессовым факторам среды были использованы данные по урожайности четырех сортов (Атаман, Визит, Гонар, Эльф), приведенные в работах [46, 47]. Сорты Атаман, Гонар, Эльф являются среднеспелыми сортами (72-85 дней), тогда как Визит – среднепоздний (вегетационный период 70-96 дней). Яровой ячмень выращивался в условиях длительного стационарного опыта в 2008 – 2010 гг., который включал следующие варианты: 1 – (NPK)<sub>120</sub>+ЗУ+С+Н+П; 2 – (NPK)<sub>90</sub>+С+Н+П; 3 – (NPK)<sub>60</sub>+ЗУ+С+Н+П; 4 – Н+ЗУ+С. Здесь, ЗУ, С, Н, П соответственно зеленое удобрение, солома, навоз, пестициды. Нормы высева на всех вариантах составляли 5,5; 4,5; 3,5 млн. всхожих семян на 1 га [46, 47].

Для расчета необходимых фитоклиматологических

величин использовался банк данных срочных наблюдений, имеющийся на Метеостанции БГСХА [16]. В период вегетации культур на Метеостанции БГСХА актинометрические наблюдения проводят 5 раз в сутки: в 8, 11, 14, 17, 20 часов по местному времени. Расчет суточных значений солнечной радиации не проводится. Поэтому суточные значения прямой ( $S'$ ), рассеянной ( $D$ ), отраженной радиации ( $R_k$ ) и радиационного баланса ( $B_k$ ) вычислялись нами по данным срочных наблюдений в соответствии с работой [48]. Расчет суточных сумм  $S'$ ,  $D$ ,  $R_k$  проводился по методу трапеций:

$$\sum_c N = \frac{N_1}{2} \cdot t_1 + \left( \frac{N_1}{2} + N_2 + N_3 + N_4 + \frac{N_5}{2} \right) \cdot 180 + \frac{N_5}{2} \cdot t_2, \quad (5)$$

где  $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5$  – показания актинометрических приборов соответственно в 8, 11, 14, 17 и 20 часов,  $\text{кал/см}^2$  мин,  $t_1 = 8 - t_b$ ,  $t_2 = t_3 - 20$ . Здесь,  $t_b$  и  $t_3$  – соответственно восход и заход солнца по местному времени [48].

Положительные дневные суммы радиационного баланса находились по формуле:

$$\sum_c B_k = \sum_c (S'+D) - \sum_c R_k. \quad (6)$$

Для расчётов суточных сумм радиационного баланса  $\sum_c B$  ( $\sum_c B = \sum_c B_k - \sum_c B_d$ ) использовались эмпирические коэффициенты, рассчитанные по данным, приведенным в работах [10, 14]. Эмпирические коэффициенты учитывают снижение величины  $\sum_c B$  по сравнению с величиной  $\sum_c B_k$ , вызванные отрицательными значениями сумм радиационного баланса ( $\sum_c B_d$ ) от захода до восхода солнца, когда измерения длинноволновой радиации на Метеостанции БГСХА не проводятся.

По данным работы [14] коэффициенты для апреля, мая,

июня, июля, августа, сентября составили соответственно 0,81; 0,88; 0,91; 0,90; 0,83; 0,70, по данным работы [10] - 0,73; 0,87; 0,90; 0,90; 0,86; 0,71. Первый и второй ряды получены соответственно по данным Метеостанции Москва и Метеорологической обсерватории МГУ. При расчетах сумм суточных значений радиационного баланса использовался ближайший по времени исследований второй ряд. Суточные значения ФАР рассчитывались по формуле:

$$\sum Q_{\phi} = 0,43 \sum S' + 0,57 \sum D \quad (7)$$

Для расчетов испаряемости ( $E_o$ ) использовалась формула М.И. Будыко (1955 г.):

$$E_o = V/L, \quad (8)$$

где  $L$  – удельная теплота парообразования. При выборе значений  $L$  учитывалась температура воздуха. В таблице 3 приведены средние значения температур воздуха в период вегетации. Значение  $L$  в 2010-м году составляло 2453 кДж/кг, тогда как в 2008-м и 2009-м годах - 2466 кДж/кг.

Коэффициент использования посевами ФАР ( $K_{\phi AP}$ ) рассчитывался по формуле:

$$K_{\phi AP} = Y * q * 100 / \sum_v Q_{\phi}, \% , \quad (9)$$

где  $Y$  – урожайность абс.-сухой массы зерна, кг/га;  $q$  – калорийность зерна, Дж/кг;  $\sum_v Q_{\phi}$  – сумма фотосинтетически активной радиации за период вегетации, Дж/га [12].

Транспирация культур за период вегетации рассчитывалась по формуле Пенмэна (1972 г.). Формула для расчета транспирации имеет следующий вид:

$$\sum_v E_T = 0,4 K_{\phi AP} \sum_v B/L , \quad (10)$$

где  $\sum_{\text{в}} B$  – сумма суточных значений радиационного баланса за период вегетации, МДж/м<sup>2</sup>;  $K_{\text{ФАР}}$  – коэффициент использования фотосинтетически активной радиации (ФАР), %;  $L$  – удельная теплота парообразования при температуре воздуха в период вегетации, Дж/м<sup>2</sup> [1].

Коэффициент транспирации ( $K_{\text{T}}$  по зерну) рассчитывался по формуле:

$$K_{\text{T}} = \sum_{\text{в}} E_{\text{T}} / Y. \quad (11)$$

Здесь  $Y$  – урожайность абсолютно-сухого зерна, т/га.

Индекс «стресса» рассчитывался по формуле:

$$\alpha = \sum_{\text{в}} E_{\text{T}} / \sum_{\text{в}} E_{\text{о}}. \quad (12)$$

### **Коэффициент использования ФАР ( $K_{\text{ФАР}}$ ) посевами ярового ячменя**

В таблице 1 приведены данные метеорологических условий за период вегетации в 2008 – 2010 гг. Как следует из таблицы 1, КУ изменялся в широком диапазоне значений: 0,33 – 1,09. Отсюда следует, что в 2008 и 2010 годах яровой ячмень выращивался в условиях недостатка влаги, а в 2009 году в условиях небольшого избытка влаги. В 2008 году в отличие от 2010 года дефицит влаги в период вегетации частично компенсировался более высокими запасами весенней влаги. В 2010 году большой дефицит влаги (377 мм) не был компенсирован весенними запасами влаги (220 мм) и растения испытывали почвенную засуху.

В 2008-м в отличие от 2009 и 2010 годов сложился оптимальный фитоклиматологический режим. Сумма суточных значений ФАР в 2008 году составила 555 МДж/м<sup>2</sup>, тогда как в 2010 году 943 МДж/м<sup>2</sup>, а в 2009 в 2 раза меньше.

## 1. Метеорологические условия в период вегетации ярового ячменя в 2008 – 2010 гг.

Год	Период вегетации, декада, месяц	$t_{cp}, ^\circ C$	$\sum H, мм$	$\sum B_c$	$\sum Q_{ф}$	$\sum B_k$	$\sum E_o, мм$	Весенние запасы влаги, мм	КУ	Дефицит влаги, мм
				МДж/м <sup>2</sup>						
2008	2.V – 1.VIII	17,5	176,3	942	555	1059	384	329	0,46	-208
2009	II	17,6	331,8	743	472	835	303	216	1,09	+28
2010	II	21,9	189,9	1390	943	1562	567	220	0,33	-377

*Примечание:  $\sum H$  – сумма осадков за вегетацию;  $\sum B_c$ ,  $\sum Q_{ф}$ ,  $\sum B_k$  – суммарные суточные значения радиационного баланса, фотосинтетически активной радиации, поглощенной радиации соответственно за период вегетации;  $\sum E_o$  – испаряемость в период вегетации, КУ – коэффициент увлажнения;  $\sum H - \sum E_o$  – дефицит влаги.*

На рисунке 4 представлен месячный ход суточных сумм ФАР в 2008 – 2010-м годах в течение вегетации. Как следует из рисунка 4, в 2008 году максимум ФАР в месячном ходе совпадает с июнем, когда яровой ячмень проходит период формирования элементов продуктивности колоса (выход в трубку – цветение). В 2009 году максимум ФАР достигает в мае, в период прохождения фазы выхода в трубку. В 2010 году при более высоких значениях ФАР, чем в 2008 и 2009 годах, максимум ФАР приходится на июль, на фазу восковой спелости зерна.

Наиболее биологически активной частью ФАР является прямая солнечная радиация. На рисунке 1 представлен месячный ход отношения суточных сумм прямой радиации к суточным суммам рассеянной радиации в разные годы. Как следует из рисунка 1, при сухой и безоблачной погоде в 2008 году прямая радиация превосходила рассеянную в 4

– 6 раз в течение вегетации. В дождливую и облачную погоду летом 2009 года величина  $\Sigma_M S'$  превосходила  $\Sigma_M D$  лишь в 2,5 раза. При задымлении тропосферы в 2010 году, вызванного возгоранием торфяников, наблюдается резкое уменьшение прямой солнечной радиации по сравнению с рассеянной радиацией. Отношение  $\Sigma_M S'/\Sigma_M D$  в 2010 году изменялось в интервале значений 0,6-1,8.

В таблице 2 приведены данные расчетов коэффициента использования ФАР ( $K_{\text{ФАР}}$ , %) посевами ярового ячменя в 2008 – 2010 гг. Как следует из таблицы 2, независимо от условий, сложившихся в разные годы, значение  $K_{\text{ФАР}}$  снижается по мере уменьшения нормы высева семян. Это явление объясняется тем, что с уменьшением нормы высева семян снижается сомкнутость растительного покрова, увеличивается физическое испарение влаги с поверхности почвы и соответственно сокращаются запасы продуктивной влаги.

В 2009 году при достатке влаги максимальное значение  $K_{\text{ФАР}}$  (2 %) было достигнуто на первом варианте [(NPK)<sub>120</sub>] при возделывании сорта Атаман. С уменьшением дозы внесения удобрений снижается поглощение солнечной радиации.

Таким образом, при достатке влаги и элементов питания поглощение солнечной радиации достигает максимального значения. При достатке влаги, но недостатке элементов питания поглощение солнечной радиации снижается.

При условии достатка влаги и элементов питания по величине  $K_{\text{ФАР}}$  сорта ярового ячменя расположились в следующую последовательность: Атаман (2 %) > Визит (1,73 %) > Эльф (1,72 %) > Гонар (1,56 %).

При условии как достатка, так и недостатка влаги, но недостатка элементов питания [(NPK)<sub>0</sub>] не обнаружено различий между сортами по величине  $K_{\text{ФАР}}$ .

2. Рассчитанные по формуле (9) значения коэффициента использования ФАР ( $K_{\text{ФАР}}$ , %) посевами ярового ячменя при разных нормах высева семян

Сорт	2008 г.			2009 г.			2010 г.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<u>Вариант (NPK)<sub>120</sub>+П</u>									
Атаман	1,72	1,69	1,58	2,00	1,95	1,90	0,82	0,83	0,60
Визит	1,65	<b>1,72</b>	1,59	1,73	<b>1,93</b>	1,67	0,66	0,62	0,59
Эльф	1,62	<b>1,75</b>	1,59	1,72	<b>1,81</b>	1,48	0,82	0,73	0,74
Гонар	1,62	1,58	1,52	1,56	1,55	1,51	0,89	0,89	0,70
<u>Вариант (NPK)<sub>90</sub>+П</u>									
Атаман	1,47	<b>1,51</b>	1,46	1,76	1,70	1,26	0,76	0,64	0,47
Визит	1,55	1,50	1,57	1,30	1,16	1,34	0,59	0,55	0,47
Эльф	1,28	<b>1,61</b>	1,19	1,48	<b>1,55</b>	1,37	0,65	0,57	0,59
Гонар	1,40	<b>1,60</b>	1,26	1,35	<b>1,47</b>	1,30	0,68	0,68	0,50
<u>Вариант (NPK)<sub>60</sub>+П</u>									
Атаман	1,29	<b>1,40</b>	1,37	1,60	1,45	1,14	0,61	0,51	0,39
Визит	1,35	1,36	1,25	1,07	<b>1,20</b>	1,06	0,48	0,46	0,38
Эльф	1,20	<b>1,62</b>	1,06	1,26	<b>1,40</b>	1,03	0,50	0,47	0,39
Гонар	1,28	1,26	1,01	1,18	<b>1,28</b>	1,17	0,51	0,51	0,38
<u>Вариант (NPK)<sub>0</sub></u>									
Атаман	1,06	0,99	0,95	1,16	<b>1,37</b>	0,85	0,48	0,34	0,33
Визит	1,02	1,06	1,03	1,10	0,93	0,92	0,36	0,30	0,29
Эльф	1,03	0,96	0,86	0,96	1,00	0,86	0,40	0,33	0,33
Гонар	0,94	0,98	0,83	1,02	1,02	0,82	0,33	0,33	0,31

*Примечание: 1, 2, 3 – нормы высева семян, равные соответственно 5,5; 4,5; 3,5 млн. шт/га.*

Отсюда следует, что при достатке влаги, и равном достатке элементов питания процесс фотосинтеза наиболее активно протекает в посевах сорта Атаман и менее активно у сорта Гонар.

Однако, при недостатке элементов питания, но достатке, так и недостатке влаги, поглощение радиации посевами ярового ячменя не зависит от сорта.

При повышенном радиационном фоне и низком значении  $\Sigma_b S' / \Sigma_b D$ , сложившемся в 2010 году резко, почти в 2,5 раза снижается поглощение солнечной радиации всеми сортами ярового ячменя. При условии недостатка влаги наличие элементов питания повышает значение  $K_{\text{ФАР}}$  по сравнению с контролем.



При условии недостатка влаги и достатка элементов питания по величине  $K_{\text{ФАР}}$  сорта ярового ячменя расположились в следующей последовательности: Гонар > Эльф > Атаман > Визит. Уменьшение дозы удобрений нарушает эту последовательность.

При достатке элементов питания, но недостатке влаги процесс фотосинтеза наиболее активно протекает в посевах сорта Гонар и наименее активно в посевах средне-позднего сорта Визит. Сорт Гонар сохраняет высокую интенсивность процесса фотосинтеза даже при большом дефиците влаги.

Согласно гипотезе «максимизации продуктивности» растений способ максимизации зависит от запасов влаги [3]. Если вода не является лимитирующим фактором, то максимизация продуктивности сводится к максимизации поглощения солнечной радиации. В этот период растение расходует много влаги на транспирацию.

По мере уменьшения влагозапасов почвы максимальное поглощение растением солнечной радиации становится невыгодным, так как вызывает перегрев листьев и излишний расход воды. Процесс адаптации растений к стрессовому фактору сводится к уменьшению поглощения радиации, уменьшению перегрева листьев и экономному расходованию воды за счет продуктивности [3].

### **Транспирация посевами ярового ячменя в 2008-2010 годы**

Растение представляет собой самоуправляемую биологическую систему, в которой в результате взаимодействия солнечной энергии, воды, двуокиси углерода синтезируются органические вещества. Суммарный рост растений пропорционален суммарной транспирации за весь пе-

риод. Коэффициент пропорциональности зависит от многих факторов: сорта растений, типа почвы, видов удобрений и их количества, от способов борьбы с вредителями и болезнями [49].

Под транспирацией листьев понимают перенос водяного пара под действием градиента концентрации с испаряемой поверхности внутри листа к наружной его поверхности и далее в воздух. Испарение из листа происходит в двух местах: с наружных стенок клеток эпидерма и со стенок клеток мезофилла, выходящих в межклеточные пространства, заполненные воздухом. Отсюда пар движется к поверхности листа: в первом случае через кутикулу, а во втором - через устьичные щели. Когда устьица открыты, роль кутикулярной транспирации мала.

Устьице - щелевидное отверстие в коже (эпидермесе), окруженное двумя замыкающими клетками. Служит для газообмена и транспирации. На свету при достаточном увлажнении устьица открыты, в темноте или при недостатке воды - закрыты. Механизм работы устьиц обусловлен следующими особенностями строения замыкающих клеток: они содержат хлоропласты, остальные клетки эпидермы их не содержат. Замыкающие клетки имеют утолщённую стенку со стороны устьичной щели. На свету идёт процесс фотосинтеза только в замыкающих клетках; образующиеся сахара повышают концентрацию клеточного сока, вызывая поступление воды в эти клетки.

Повышается турговое давление, и клетки начинают разбухать, увеличиваясь в объёме. В результате замыкающие клетки растягиваются в сторону основной эпидермы, где стенки более тонкие и устьице открывается. Ночью, когда фотосинтез не происходит, замыкающие клетки возвращаются на место и смыкаются - устьица закрываются.

Одновременно протекающие процессы транспирации и физического испарения влаги из почвы и задержанных на

поверхности растений осадков после выпадения объединяются в понятие «суммарное испарение или эвапотранспирация». Суммарное испарение ( $Q_c$ ) определяется по данным экспериментально-полевых исследований и рассчитывается по формуле:

$$Q_c = (Q_o - Q_k) + \sum_v H, \text{ мм} \quad (13)$$

где  $Q_o$ ,  $Q_k$  - запасы влаги соответственно в начале и конце вегетации,  $\sum_v H$  - сумма осадков за период вегетации.

Для того, чтобы определить транспирацию растений, необходимо исключить физическое испарение влаги из почвы и испарение влаги с поверхности растений после выпадения осадков. Это условие достигается при постановке лабораторных опытов с частями срезанных растений, лизиметрических, вегетационных опытов. Для описания транспирации посевов культур за период вегетации предложено несколько моделей [1,2,3].

В математической модели, представленной в работе [3], интенсивность процесса транспирации равна разности плотности пара на испаряющей поверхности листа и в окружающем воздухе, делённой на сумму сопротивлений при движении водяного пара через пограничный слой воздуха и устьицу на нижней стороне листьев. Причём, для расчёта сопротивления устьиц движению водяного пара ( $r_s$ ) используется эмпирическая формула, описывающая зависимость  $r_s$  от интенсивности ФАР и водного потенциала листа [3]. В работе [3] отмечается, что «непосредственная экспериментальная проверка модели в настоящее время не представляется возможной из-за отсутствия соответствующих комплексных экспериментов» (187 стр.).

В работе [2] описана модель, согласно которой транспирация зависит от радиационного баланса у поверхности

растительного покрова, теплообмена в почве, влажности, плотности и температуры воздуха, скорости ветра на высоте 2 м над поверхностью посева, влажности почвы, относительной площади листьев в период вегетации. Для расчётов транспирации по этой модели требуется непосредственное определение необходимых параметров в посевах культур.

В работе [1] описана модель транспирации, которая построена на данных опыта и теоретических предпосылках, согласно которым доля солнечной радиации, поглощённой растением, составляет около 40 % радиационного баланса. Из этой доли только приблизительно 1 % расходуется на фиксацию сухого вещества в процессе фотосинтеза.

В таблице 3 приведены рассчитанные по формуле (10) значения транспирации посевов разных сортов ярового ячменя в 2008 – 2010 гг. Как следует из формулы (10), транспирация зависит от величины радиационного баланса и коэффициента использования ФАР. Оптимальный радиационный баланс сложился в период вегетации в 2008 году. Взаимодействие этих факторов привело к повышенным в 2008 году по сравнению с 2009 и 2010 гг. значениям транспирации посевов ярового ячменя.

Из таблицы 3 следует, что транспирация ярового ячменя зависит от сорта, дозы минеральных удобрений и нормы посева семян. По мере снижения нормы посева семян снижается транспирация из-за возрастающей доли физического испарения влаги в составе эвапотранспирации, или суммарного водопотребления. Данные таблицы 3 показывают, что независимо от запасов продуктивной влаги в почве увеличение дозы минеральных удобрений повышает транспирацию посевов.

3. Рассчитанные по формуле (10) значения транспирации посевов разных сортов ярового ячменя (мм) в 2008 – 2010 гг.

Сорт	2008 г.			2009 г.			2010 г.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>Вариант (NPK)<sub>120</sub>+П</b>									
Атаман	298	292	273	272	265	258	209	186	153
Визит	285	<b>298</b>	275	235	262	227	168	158	150
Эльф	280	<b>303</b>	275	234	246	201	209	186	189
Гонар	280	273	263	212	211	205	227	176	178
<b>Вариант (NPK)<sub>90</sub>+П</b>									
Атаман	254	<b>261</b>	253	239	231	171	194	163	120
Визит	268	<b>259</b>	272	177	158	182	150	140	120
Эльф	221	<b>278</b>	206	201	211	186	166	145	150
Гонар	242	<b>277</b>	218	184	200	177	173	150	127
<b>Вариант (NPK)<sub>60</sub>+П</b>									
Атаман	203	<b>242</b>	237	218	197	155	156	130	99
Визит	234	235	216	145	163	144	122	117	97
Эльф	208	<b>280</b>	183	171	190	140	127	120	99
Гонар	221	218	175	160	174	159	130	120	97
<b>Вариант (NPK)<sub>0</sub></b>									
Атаман	183	171	164	158	186	116	122	87	84
Визит	176	<b>183</b>	178	150	126	125	92	76	74
Эльф	178	166	149	131	136	117	102	84	84
Гонар	163	169	144	139	139	111	84	79	79

*Примечание: 1, 2, 3 – нормы высева семян, равные соответственно 5,5; 4,5; 3,5 млн. шт/га.*

Следует отметить, что соблюдается линейная зависимость между величиной транспирации и дозой азотосодержащего удобрения (N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 16:16:16) независимо от сорта, нормы посева, а также года исследований и, следовательно, водного и фитоклиматологического режимов.

Линейный характер функции  $\sum_v E_T = f(N_{уд})$ , независимый от внешних факторов (сорт, норма посева, запас продуктивной влаги, радиационный баланс, ФАР), указывает на существование универсального механизма регулирования тургорного давления в замыкающих устьицах клеток эпидермы ионами, входящими в состав удобрений. Здесь,  $N_{уд}$  – норма азотосодержащего удобрения.

Данные таблицы показывают, что, независимо от запасов продуктивной влаги в почве, увеличение дозы минеральных удобрений повышает транспирацию посевов. Максимум

транспирации достигается при оптимальной влажности почвы и повышенной дозе минеральных удобрений.

Увеличение нормы посева семян также приводит к повышению транспирации независимо от сорта ячменя и дозы минерального удобрения.

При нормах посева семян 5,5 Мшт/га и 4,5 Мшт/га самую высокую транспирацию при разных режимах влажности почвы и нормах внесения минеральных удобрений проявил сорт ярового ячменя Атаман. Однако при норме посева семян, равной 3,5 Мшт/га, максимальная величина транспирации проявлялась у других сортов Визит и Эльф.

В таблице 4 приведены результаты расчетов коэффициента транспирации ( $K_T$ ). Расчеты по формуле (11) показали, что эта величина не зависит от сорта, но зависит от водного режима почвы и величины ФАР.

#### 4. Рассчитанные значения коэффициента транспирации ( $K_T = (\sum_B E_T / Y)$ ) посевами ярового ячменя при разных нормах посева

Сорт	2008 г.			2009 г.			2010 г.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>Вариант (NPK)<sub>120</sub>+П</b>									
Атаман	609	608	608	563	564	562	525	525	526
Визит	609	608	608	563	561	563	530	523	523
Эльф	610	611	607	562	562	563	525	524	525
Гонар	610	607	610	561	563	563	528	527	528
<b>Вариант (NPK)<sub>90</sub>+П</b>									
Атаман	608	608	610	562	562	560	531	524	531
Визит	609	608	611	562	562	562	526	524	533
Эльф	607	607	611	561	563	562	532	529	523
Гонар	608	610	607	566	565	565	524	526	529
<b>Вариант (NPK)<sub>60</sub>+П</b>									
Атаман	609	563	608	565	528	562	527	528	527
Визит	609	609	610	560	564	562	528	522	530
Эльф	612	607	606	562	560	564	525	533	527
Гонар	607	609	612	559	563	564	522	533	533
<b>Вариант (NPK)<sub>0</sub></b>									
Атаман	610	611	607	564	560	563	528	524	518
Визит	607	606	605	562	560	560	535	517	536
Эльф	607	606	613	567	562	562	526	518	518
Гонар	608	608	613	563	563	558	532	523	523
Среднее	609	608	609	563	562	558	528	525	527

*Примечание: 1, 2, 3-нормы посева семян, соответственно 5,5; 4,5; 3,5 млн .штук/га.*

В таблице (5) приведены данные о влиянии удобрений на увеличение процесса транспирации при разном недостатке усвояемой влаги. Из таблицы (5) следует, что внесение минеральных удобрений ускоряет процесс транспирации по сравнению с неудобренными вариантами. Независимо от нормы посева семян наибольшая разница в величинах транспирации наблюдается при почвенной засухе (2010 год).

При недостатке элементов питания и влаги растение заметно снижает поглощение радиации за счёт своей продуктивности.

При недостатке влаги, но наличии элементов питания растения углубляют свою кормовую систему, используют влагу из более глубоких слоев почвы.

### 5. Отношение величины транспирации на удобренных вариантах и на контроле

Сорт	N=5,5·10 <sup>6</sup> шт/га			N=4,5·10 <sup>6</sup> шт/га			N=3,5·10 <sup>6</sup> шт/га		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010
<u>Вариант (NPK)<sub>120</sub>+Π</u>									
Атаман	1,6	1,7	1,7	1,7	2,1	2,1	1,7	2,2	1,8
Визит	1,6	1,6	1,8	1,6	2,1	2,1	1,5	1,8	2,0
Эльф	1,6	1,8	2,0	1,8	2,2	2,2	1,8	1,7	2,2
Гонар	1,7	1,5	2,7	1,6	2,2	2,2	1,8	1,8	2,2
<u>Вариант (NPK)<sub>90</sub>+Π</u>									
Атаман	1,4	1,5	1,6	1,5	1,2	1,9	1,5	1,5	1,4
Визит	1,5	1,2	1,6	1,4	1,2	1,8	1,5	1,5	1,6
Эльф	1,2	1,5	1,6	1,7	1,5	1,7	1,4	1,6	1,8
Гонар	1,5	1,3	2,0	1,6	1,4	1,9	1,5	1,6	1,6
<u>Вариант (NPK)<sub>60</sub>+Π</u>									
Атаман	1,2	1,4	1,3	1,4	1,1	1,5	1,4	1,3	1,2
Визит	1,3	1,0	1,3	1,3	1,3	1,5	1,2	1,1	1,3
Эльф	1,2	1,3	1,2	1,7	1,4	1,4	1,2	1,2	1,2
Гонар	1,4	1,1	1,5	1,3	1,2	1,5	1,2	1,4	1,2

Известны работы, исследующие возможность интенсификации процесса транспирации и водного режима растений путем подбора доз и состава минеральных удобрений. Этот вопрос имеет не только теоретическое, но и при-

кладное значение, связанное с разработкой систем удобрений. Впервые на важность этого вопроса обратили внимание К.А. Тимирязев [9], Д.Н. Прянишников [4], Н.А. Максимов [50]. Появилось значительное количество работ с описанием результатов вегетационных опытов по влиянию отдельных удобрений и полного минерального удобрения на процесс эвапотранспирации из-за отсутствия точных данных по транспирации [4, 5, 6]. Одной из важнейших проблем в этой области остается установление связи между дозой внесенного минерального удобрения и транспирацией посевов культур в полевых условиях.

На рисунке 9 представлены графики зависимости транспирации посевов за период вегетации от доз полного минерального удобрения. Как следует из рисунка 9, соблюдается линейная зависимость между  $\sum_v E_T$  и дозой полного минерального удобрения для каждого сорта ярового ячменя независимо от нормы высева семян и года исследований.

Линейный характер функции  $\sum_v E_T = f(N_{вд})$ , независимый от внешних факторов (сорт, норма высева семян, запас продуктивной влаги, радиационный баланс, ФАР), указывает на участие осмотического механизма регулирования тургорного давления в замыкающих устьища клетках эпидермы ионами, входящими в состав удобрений. Механизм работы устьиц обусловлен тем, что только замыкающие клетки эпидермы содержат хлоропласты. На свету процесс фотосинтеза протекает только в замыкающих клетках, образующиеся сахара повышают концентрацию клеточного сока, вызывая открытие устьиц в замыкающих клетках и поступление воды в эти клетки. Вместе с водой поступают различные ионы, которые дополнительно повышают тургорное давление, увеличивая транспирацию.

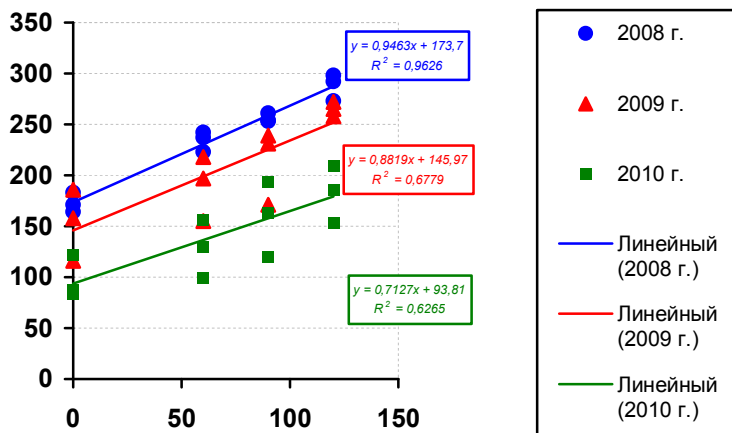
Согласно закону осмотического давления, которое выражается следующей формулой  $P_{осм} = iCRT$ , величина  $P$ , создаваемая раствором, зависит от количества, а не от химиче-

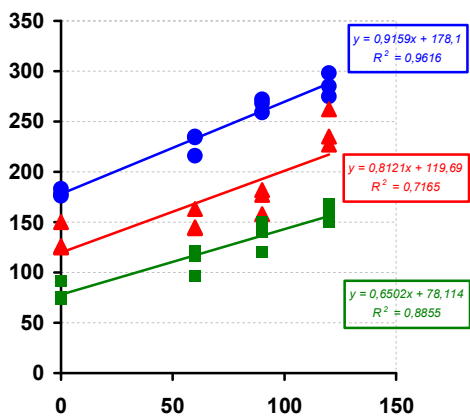


ской природы растворимых в нем веществ. Здесь,  $i = 1 + a(n-1)$ ;  $a$  – степень диссоциации электролита,  $n$  – количество ионов в молекуле,  $c$  – молярная концентрация раствора, моль/м<sup>3</sup>;  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $T$  – температура раствора.

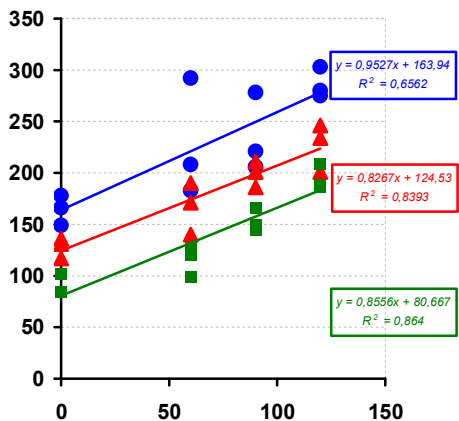
Из закона следует, что при внесении в почву определенного удобрения величина  $P$  и следовательно  $E_T$  будет зависеть от дозы и вида внесенного удобрения.

Проведенные исследования на четырех сортах ярового ячменя показали, что процесс транспирации можно регулировать, применяя дозы минеральных удобрений. Впервые установлена линейная зависимость между транспирацией посевов ярового ячменя и дозой полного минерального удобрения. Показано, что процесс транспирации зависит не только от дозы удобрения, но и от биологических особенностей сорта. Линейная зависимость транспирации посевов от дозы полного минерального удобрения подтверждается законом осмотического давления смешанного раствора электролита.

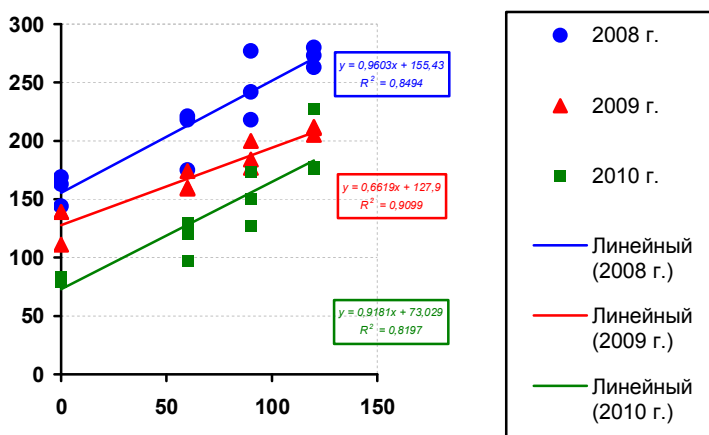




2



3



4

Рис. 9. Графики зависимости транспирации посевов за период вегетации и доз полного минерального удобрения для четырех сортов ярового ячменя: 1 – Атаман, 2 – Визит, 3 – Эльф, 4 – Гонар

В работе Hiler E.A., Howel T.A., Lews R.B., Voos R.P. (1974), был предложен метод определения времени полива культур посредством индекса «стресса». Индекс стресса определяется по отношению эвапотранспирации к испаряемости в определенный промежуток времени ( $\Sigma E_{ЭТ}/\Sigma E_0$ ), [51].

Поскольку эвапотранспирация включает в себя расход воды на транспирацию и физическое испарение, то более точную оценку состояния растения во время почвенной или атмосферной засухи можно получить по отношению транспирации к испаряемости ( $\Sigma E_T/\Sigma E_0$ ). Величину индекса «стресса» можно использовать для оценки степени адаптивности разных культур и сортов к неблагоприятным погодным условиям.

Как следует из таблицы 1 период вегетации в 2010 году отличался от 2008 и 2009 гг. почвенной и атмосферной засухой.

Наиболее благоприятные условия для роста и развития культур сложились в 2008 г. В таблице 6 приведены индексы стресса посевов ярового ячменя в 2008 и 2010 годах. Как следует из таблицы, индексы «стресса» в 2008 имели оптимальное значение (0,72-0,79) при норме внесения удобрений, равной (NPK)120.

### 6. Индексы стресса посевов ярового ячменя

2008 год				
Сорт	(NPK) <sub>120</sub>	(NPK) <sub>90</sub>	(NPK) <sub>60</sub>	(NPK) <sub>0</sub>
N =5,5 Мшт/га				
Атаман	0,78	0,66		0,48
Визит	0,74	0,70	0,61	0,46
Эльф	0,73	0,56	0,54	0,46
Гонар	0,73	0,63	0,58	0,42
N =4,5 Мшт/га				
Атаман	0,76	0,68	0,63	0,44
Визит	0,77	0,67	0,61	0,48
Эльф	0,79	0,72	0,73	0,43
Гонар	0,71	0,72	0,57	0,44
N =3,5 Мшт/га				
Атаман	0,71	0,66	0,62	0,43
Визит	0,72	0,71	0,56	0,46
Эльф	0,72	0,54	0,48	0,39
Гонар	0,68	0,57	0,46	0,37
2010 год				
N =5,5 Мшт/га				
Атаман	0,37	0,34	0,27	0,21
Визит	0,30	0,26	0,21	0,16
Эльф	0,37	0,29	0,22	0,18
Гонар	0,40	0,30	0,23	0,15
N =4,5 Мшт/га				
Атаман	0,33	0,29	0,23	0,15
Визит	0,29	0,25	0,21	0,13
Эльф	0,33	0,26	0,21	0,15
Гонар	0,31	0,26	0,21	0,14
N=3,5 V шт/га				
Атаман	0,27	0,21	0,17	0,15
Визит	0,26	0,21	0,17	0,13
Эльф	0,33	0,26	0,17	0,15
Гонар	0,31	0,22	0,17	0,14

С уменьшением дозы внесения удобрений уменьшается значение индекса «стресса»), так как увеличивается расход влаги на физическое испарение, а на транспирацию снижается. Поэтому при достатке почвенной влаги, но недостатке элементов питания снижается поглощение солнечной радиации и соответственно величина транспирации.

При недостатке продуктивной влаги оптимальной нормой внесения минеральных удобрений является (NPK)<sub>120</sub>.

При недостатке продуктивной влаги в почве (2010 год) резко снижается индекс стресса. Посевы ярового ячменя уменьшают поглощение радиации, так как максимальное поглощение радиации вызывает перегрев листьев и излишний расход влаги. «В процессе адаптации растение стремится к уменьшению поглощения радиации, к уменьшению перегрева листьев и к экономному расходу воды даже за счет продуктивности» (З.Н. Бихеле, Х.А. Молдау, Ю.К. Росс, 1980. С. 187) [3]. В условиях почвенной и атмосферной засухи наиболее экономно расходовали влагу сорта Гонар и Эльф.

Рассмотрим влагообеспеченность разных сортов ярового ячменя при норме высева семян, равной 3,5 млн. шт/га в 2008 – 2010 гг. Для этого по формуле (12) рассчитаем значение индекса «стресса» ( $\alpha$ ). В таблице 7 представлены средние за вегетацию индексы стресса.

7. Средние за вегетацию индексы «стресса» ( $\alpha$ ) посевов ярового ячменя (на варианте (NPK)<sub>120</sub>+II) при норме посева, равной 3,5 млн. шт/га

Год	Сорт			
	Атаман	Визит	Эльф	Гонар
2008	0,71	0,72	0,72	0,68
2009	0,90	0,78	0,77	0,70
2010	0,27	0,26	0,33	0,31

Как следует из таблицы 7, в 2008 и 2009 гг. посевы культур развивались в условиях оптимальной водообеспе-

ченности в период вегетации. В засушливый 2010 год при резком снижении водообеспеченности посевов ярового ячменя транспирация остается повышенной у сортов Эльф и Гонар.

### **Краткосрочный прогноз урожайности ярового ячменя на опытном поле Брянской ГСХА**

В сельскохозяйственных науках в настоящее время достаточно хорошо разработаны научные основы методов агрометеорологических прогнозов. Эти методы основаны на раскрытии связей метод исходным и конечным состоянием какого-либо процесса в системе почва - растение - атмосфера. Для описания процесса выбираются наиболее значимые и лимитирующие факторы, которые играют основную роль предикторов (предсказателей), влияющих на предсказываемую переменную величину [52].

Растение представляют собой биологическую систему, в которой в результате взаимодействия солнечной энергии, воды и двуокиси углерода синтезируется органическое вещество. Установлено, что суммарная фитомасса растений пропорциональна суммарной потенциальной транспирации за весь период роста. Коэффициент пропорциональности зависит от многих факторов: водного и питательного режимов, обработки почвы, методов борьбы с вредителями и болезнями и др. [49].

Для расчета урожая сухого вещества Х. Пенмэн (1972) предложил следующую формулу:

$$Y = K \sum_{v} E_T, \quad (13)$$

где  $K$  - эмпирический коэффициент [1].

Из формулы (13) следует, что имеется пропорциональность между урожаем и суммарной

транспирацией за период вегетации. Если пренебречь незначительной величиной свободного члена, в формулах (17)-(28) то получим формулы, совпадающие с (13).

При норме посева, равный 3,5 Мшт/га семян, зависимости урожайности от транспирации имеют следующий вид:

$$Y_1=1,72\Sigma_{\text{в}}E_{\text{т}}, Y_2=1,71\Sigma_{\text{в}}E_{\text{т}}, Y_3=2,07\Sigma_{\text{в}}E_{\text{т}}, Y_4=1,71\Sigma_{\text{в}}E_{\text{т}}, \quad (14)$$

При норме посева, равный 4,5 Мшт/га семян, функция  $Y=f(\Sigma_{\text{в}}E_{\text{т}})$  имеет следующий вид:

$$Y_1=1,72 \Sigma_{\text{в}}E_{\text{т}}, Y_2=1,71 \Sigma_{\text{в}}E_{\text{т}}, Y_3=1,72 \Sigma_{\text{в}}E_{\text{т}}, Y_4=1,70 \Sigma_{\text{в}}E_{\text{т}} \quad (15)$$

При норме посева равный 5,5 Мшт/га семян, функции  $Y=f(\Sigma_{\text{в}}E_{\text{т}})$  имеет следующий вид:  $Y_1=1,70 \Sigma_{\text{в}}E_{\text{т}}, Y_2=1,67 \Sigma_{\text{в}}E_{\text{т}}, Y_3=1,74 \Sigma_{\text{в}}E_{\text{т}}, Y_4=1,72 \Sigma_{\text{в}}E_{\text{т}}.$  (16)

Здесь 1,2,3,4, соответственно сорта: Атаман, Визит, Гонар, Эльф.

На рис. 10 представлены графики зависимости урожайности (Y) ярового ячменя разных сортов: Атаман (1), Визит (2), Гонар (3), Эльф (4), от транспирации ( $\Sigma_{\text{в}}E_{\text{т}}$ ) при норме посева 3,5 Мшт/га.

Как следует из рисунка 10, рассчитанные по формуле (10) значения транспирации и экспериментальные данные урожайности культур подчиняются линейной зависимости.

На рисунке 10 представлены графики зависимости урожайности ярового ячменя разных сортов: Атаман (1), Визит (2), Гонар (3), Эльф (4) от суммарной транспирации ( $\Sigma_{\text{в}}E_{\text{т}}$ ) при норме посева 3,5 млн. шт/га.

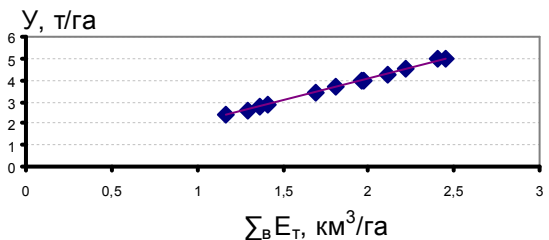
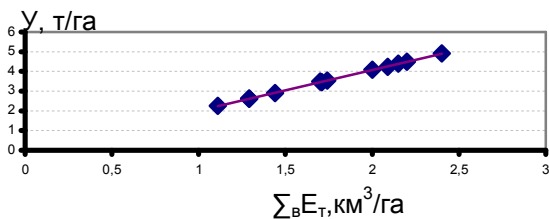
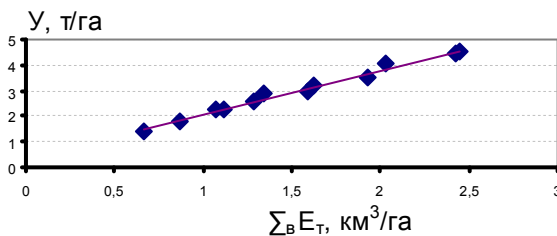
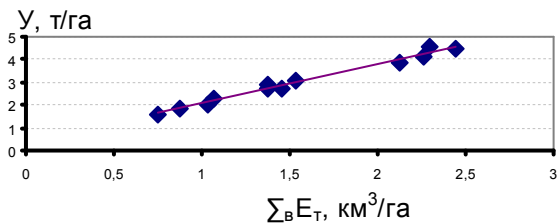


Рис. 10. Зависимость урожайности (Y, т/га) ярового ячменя четырех сортов от транспирации ( $\Sigma_{в}E_{т}$ , км<sup>3</sup>/га) за период вегетации при норме посева 3,5 млн. шт/га:  
1 – Атаман, 2 – Визит, 3 – Гонар, 4 – Эльф



Как следует из рисунка 10, рассчитанные по формуле (10) значения транспирации и экспериментальные данные урожайности культур подчиняются линейной зависимости. Для сортов Атаман, Визит, Гонар, Эльф эти зависимости описываются следующими уравнениями регрессии соответственно:

$$y_1 = 1,7251x + 0,3583, R_1^2 = 0,9845, r_1 = 0,99 \quad (17)$$

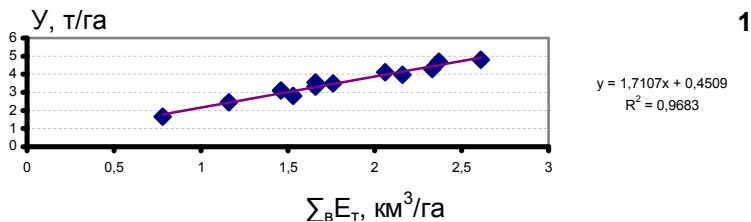
$$y_2 = 1,7163x + 0,355, R_2^2 = 0,9861, r_2 = 0,99 \quad (18)$$

$$y_3 = 2,0569x - 0,0385, R_3^2 = 0,9997, r_3 = 0,99 \quad (19)$$

$$y_4 = 2,057x - 0,0372, R_4^2 = 0,9996, r_4 = 0,99 \quad (20)$$

Как следует из уравнений (17 – 20), коэффициенты корреляции ( $r$ ) для четырех сортов превышают 0,7. Следовательно, связь между суммарной транспирацией и урожайностью сильная. Коэффициенты детерминации ( $R^2$ ) составили 0,9845 – 0,9996, что означает 98,45 – 99,97 %-ную зависимость урожайности от транспирации.

На рисунке 11 представлены графики зависимости урожайности четырех сортов ярового ячменя при норме посева, равной 4,5 млн. шт/га, от суммарной транспирации ( $\sum_B E_T$ ).



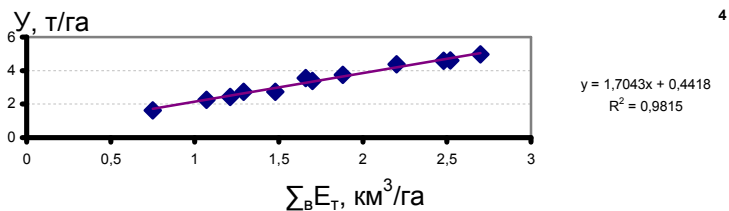
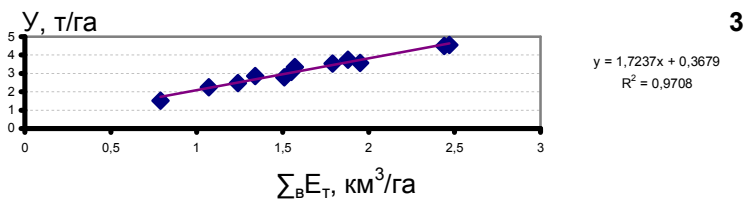
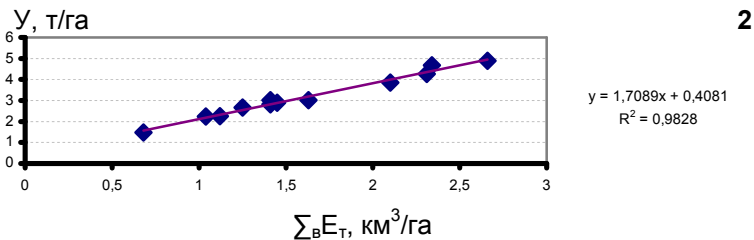


Рис. 11. Зависимость урожайности ( $Y$ , т/га) ярового ячменя четырех сортов от транспирации ( $\Sigma_{\text{в}}E_{\text{т}}$ , км<sup>3</sup>/га) при норме посева 4,5 млн. шт/га в 2008 – 2010 гг.:  
1 – Атаман, 2 – Визит, 3 – Гонар, 4 – Эльф

Линейные зависимости урожайности от суммарной транспирации описываются следующими уравнениями регрессии для сортов Атаман, Визит, Гонар и Эльф соответственно:

$$y_1 = 1,7107x + 0,4509, R_1^2 = 0,9683, r_1 = 0,98 \quad (21)$$

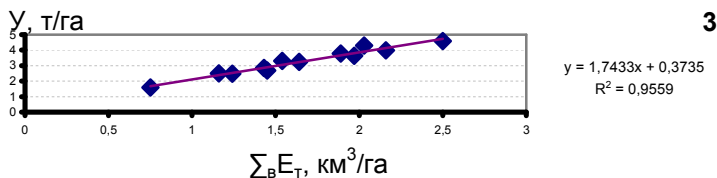
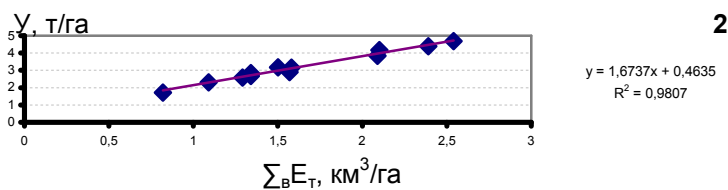
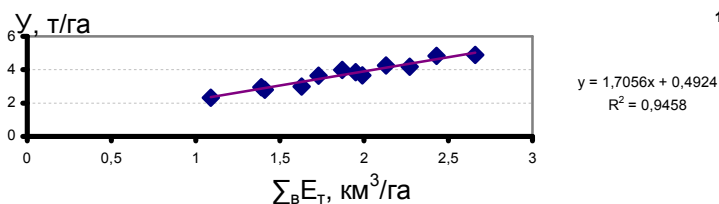
$$y_2 = 1,7089x + 0,4081, R_2^2 = 0,9828, r_2 = 0,99 \quad (22)$$

$$y_3 = 1,7237x + 0,3679, R_3^2 = 0,9708, r_3 = 0,98 \quad (23)$$

$$y_4 = 1,7043x + 0,4418, R_4^2 = 0,9815, r_4 = 0,99 \quad (24)$$

Как следует из уравнений (21 – 24), также имеется очень тесная связь между урожайностью и транспирацией при норме посева 4,5 млн. шт/га. Коэффициенты детерминации ( $R^2$ ) изменяются в интервале значений 0,9683 – 0,9828, что означает 96,83 – 98,28 %-ную зависимость урожайности ярового ячменя четырех сортов от транспирации за период вегетации.

На рисунке 12 представлены графики зависимости урожайности от суммарной транспирации сортов ярового ячменя при норме посева 5,5 млн. шт/га.



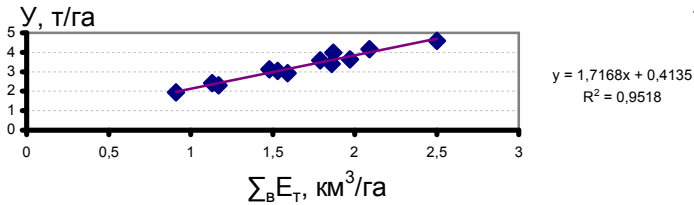


Рис. 12. Зависимость урожайности ярового ячменя (У, т/га) четырех сортов от транспирации (ΣвЕт, км³/га) при норме посева 5,5 млн. шт/га в 2008 – 2010 гг.:  
1 – Атаман, 2 – Визит, 3 – Гонар, 4 – Эльф

Линейные зависимости урожайности от транспирации описываются следующими уравнениями регрессии для сортов Атаман, Визит, Гонар, Эльф соответственно:

$$y_1 = 1,7056x + 0,4924, R_1^2 = 0,9458, r_1 = 0,97 \quad (25)$$

$$y_2 = 1,6737x + 0,4635, R_2^2 = 0,9807, r_2 = 0,99 \quad (26)$$

$$y_3 = 1,7433x + 0,3735, R_3^2 = 0,9559, r_3 = 0,98 \quad (27)$$

$$y_4 = 1,7168x + 0,4135, R_4^2 = 0,9518, r_4 = 0,98 \quad (28)$$

Из уравнений (25 – 28) следует, что при норме посева семян, равной 5,5 млн. шт/га, имеет место 94,58 – 98,07 %-ная зависимость урожайности от транспирации. По мере увеличения нормы посева снижается зависимость урожайности от транспирации, оставаясь при этом очень высокой. Таким образом, как следует из формул (17 – 28), независимо от нормы внесения минеральных удобрений соблюдается тесная зависимость между урожайностью и суммарной транспирацией культур.

Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) показывает, что 95 – 99 % изменений в урожайности обусловлено изменениями в транспирации и только 1 – 5 % изменений в урожайности связано с другими факторами.

В таблице 7 приведены данные о транспирационном расходе воды на биосинтез 1 т зерна. Как следует из таб-

лицы 7, если норма посева равна 3,5 млн. шт/га, то при изменении транспирации на 1км<sup>3</sup>/га (100 мм) урожайность сортов Атаман, Визит, Гонар, Эльф, увеличивается соответственно на 1,7251; 1,7163; 2,0569; 2,057 т/га. Отсюда транспирационный расход воды на 1 т зерна ярового ячменя сортов Атаман, Визит, Гонар и Эльф составляет соответственно 58; 58; 49; 49 мм.

#### 7. Транспирационный расход воды (мм) на биосинтез 1 т зерна ярового ячменя (2008 – 2010 гг.)

Сорт ярового ячменя	Норма посева семян, млн. шт/га		
	3,5	4,5	5,5
Атаман	58	58	59
Визит	58	58	60
Гонар	49	58	57
Эльф	49	49	58

При норме посева семян, равной 4,5 млн. шт/га, транспирационный расход воды на биосинтез 1 т зерна составляет согласно уравнениям (21 – 24) для сортов ярового ячменя сортов Атаман, Визит, Гонар, Эльф соответственно 58; 58; 58; 59 мм.

При норме посева семян, равной 5,5 млн. шт/га, транспирационный расход воды на биосинтез 1 т зерна составляет согласно уравнениям (25 – 28) для сортов Атаман, Визит, Гонар, Эльф соответственно 59; 60; 57; 58 мм. При сплошном растительном покрове (N=4,5 Мшт/га и N=5,5 Мшт/га) сорт Визит, являясь в отличие от остальных среднеспелых сортов средне-поздним, затрачивается на биосинтез одной тонны зерна наибольшее количество влаги.

При норме посева семян ярового ячменя, равной 3,5 млн. шт/га, при отсутствии сплошного растительного покрова и увеличении потерь воды на физическое испарение, сорта Гонар и Эльф обладают наибольшей адаптивностью к недостатку влаги.

Уравнения регрессии (17 – 28) можно использовать для предварительной оценки минимального урожая ярового ячменя, выращиваемого на опытном поле БГСХА. Краткосрочный прогноз можно составлять после прохождения фазы колошения. Например, если до 1 июля величина  $\sum_v B_k$  составила 804 МДж/м<sup>2</sup>, то величина  $\sum_v E_T$  при минимальном (1 %) и максимальном (1,5 %) коэффициентах использования ФАР составляет соответственно 130 и 196 мм. Следовательно, урожайность сортов ярового ячменя будет составлять не менее 2,22 т/га и не более 3,18 т/га.

Проведенный корреляционно-регрессионный анализ данных урожайности и транспирации разных сортов ярового ячменя позволили установить линейную зависимость между урожайностью и суммарной транспирацией ( $\sum_v E_T$ ), которую можно использовать для составления краткосрочных прогнозов урожайности.

## Заключение

В настоящей работе сделана попытка рассмотреть важнейшие процессы формирования устойчивости растений к стрессовым факторам среды. Эти процессы непосредственно связаны с условиями внешней среды на сельскохозяйственном поле, к которым относятся фитоклиматологический, водный и питательный режимы.

Особое внимание уделено фитоклиматологическому режиму Брянской области за период 2008-2010 гг. Было показано, что при безоблачном небе максимум фотосинтетически активной радиации (ФАР) приходится на 14 часов по местному времени, тогда как при пасмурном небе максимум ФАР приходится на 17 часов по местному времени в течении всей вегетации, что существенно отражается на уровне урожайности.

В месячном ходе ФАР максимум сдвигается и приходится в зависимости от года на май (2009г.), июнь (2010г.), июль (2011г.). В большей степени, чем облачность, снижает долю прямой радиации, которая является наиболее биологически активной, задымленность атмосферы.

На основе экспериментальных данных урожайности четырех сортов ярового ячменя проведены численные расчеты коэффициента использования ФАР ( $K_{\text{ФАР}}$ ), которые показали зависимость его от сорта, нормы посева семян, водного и питательного режимов почвы.

В работе подтверждается гипотеза о «максимизации продуктивности» посевов (З.Н. Бихем, Х.А. Молдау, Ю.К. Росс, 1980), согласно которой растение регулирует поглощение радиации в зависимости от водного режима. Приводятся данные, указывающие на то, что процесс поглощения солнечной радиации зависит также от питательного режима почвы.

Подтверждены ранее полученные данные на других культурах (Побережский, 1977), что для достижения максимального поглощения ФАР яровым ячменем необходимо

обеспечивать оптимальный водный режим, характеризующийся коэффициентом влагообеспеченности, равным 0,78-1,0.

Впервые было установлено, что независимо от запасов продуктивной влаги в почве, транспирация посевов увеличивается с повышением дозы минерального удобрения. Доказано, что соблюдается линейная зависимость между величиной транспирации и дозой полного минерального удобрения независимо от сорта, нормы посева, водного и фитоклиматического режимов. В работе указывается на участие осмотического механизма регулирования тургорного давления в замыкающих устьица клетках эпидермы ионами, входящими в состав удобрений.

Уравнение регрессии, описывающее линейную зависимость между урожайностью и суммарной транспирацией посевов ярового ячменя предлагается использовать для оценки транспирационного расхода воды (мм) на биосинтез 1т зерна ярового ячменя ( $\Sigma_b E_T/U$ ) и соответственно устойчивости культуры к стрессовым факторам среды.

Согласно расчетам  $\Sigma_b E_T/U$  наибольшую устойчивость к почвенной засухе и повышенному радиационному фону проявляют сорта Гонар и Эльф.

Численные расчеты коэффициента транспирации сортов ярового ячменя с использованием формы Пенмэна (1972) подтверждаются многочисленными экспериментальными результатами отечественных исследований. Согласно расчетам  $K_t$  не зависит от сорта, нормы высева, дозы удобрений, но зависит от водного режима и величины ФАР. В экстремальных условиях влагообеспеченности значения  $K_t$  резко снижаются по сравнению с благоприятными факторами среды.



## Список литературы

1. Пенмэн Х. Круговорот воды / Х. Пенмэн // Биосфера, М.: «Мир», 1972. – С. 60 – 72.

2. Будаговский, А.И. Испарение почвенных вод./А.И. Будаговский. Физика почвенных вод. М.: Наука, 1981-С.13-96.

3. Бихеле З.Н., Молдау Х.А., Росс Ю.К. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги / З.Н. Бихеле, Х.А. Молдау, Ю.К. Росс // Ленинград.: Гидрометеоиздат, 1980.-223 с.

4. Прянишников Д.Н. Агрохимия. / Д.Н. Прянишников.// Избр. соч. Т.1, 1952. – 691 с.

5. Петухов М.П. Удобрение и водный режим растений. / М.П. Петухов.// Труды Пермского сельскохозяйственного института имени Д.Н. Прянишникова. Т.ХVII, 1959, С. 46 – 57.

6. Липкинд И.М. Влияние азота, фосфора и калия на использование воды хлопчатником на основных разностях орошаемых почв Таджикистана. / И.М. Липкинд.// Водный режим растений в засушливых районах СССР. Изд-во АН СССР. М.: 1961, - С. 144 – 150.

7. Харченко К.И. Регулирование испарения путем внесения минеральных удобрений. / К.И. Харченко.// Материалы междуведомственного совещания по проблеме изучения и регулирования испарения с водной поверхности и почвы. Л.: ГГН, 1964. – С. 419 – 421.

8. Побережский Л.Н. Водный баланс зоны аэрации в условиях орошения. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. -159с.

9. Тимирязев К.А. Земледелие и физиология растений. / К.А. Тимирязев.// Избр. соч. Т.II, 1948.

10. Абакумова Г.М., Горбаренко Е.В., Незваль Е.И., Шиловцева О.А. Климатические ресурсы солнечной энергии Московского региона /Г.М. Абакумова, Е.В. Горбаренко, Е.И. Незваль, О.А. Шиловцева // М.: Книжный дом «Либроком», 2012. – 312 с.

11. Косарев В.П., Андрущенко Т.Т. Лесная метеорология с основами климатологии: Учебное пособие. / Под ред. Б.В. Бабикова. – СПб.: Издательство «Лань», 2007. – 288 с.

12 Чирков Ю.И. Агрометеорология./ Ю.И. Чирков // Л.: Гидрометеоздат, 1986.-296 с.

13. Пиловец Г.И. Метеорология и климатология: учеб. пособие / Г.И. Пиловец. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2013. – 399 с.

14. Пивоварова З.И. Радиационная характеристика климата СССР /З.И. Пивоварова// Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 335 с.

15. Почвы Кокинского совхоза-техникума Выгоничского района Брянской области и их использованию. – Брянск. 1980- 121с.

16. Агрометеорологический бюллетень //Метеостанция БГСХА, с. Кокино, 2008 – 2012 гг.

17. Кауричев И.С. Почвоведение. / И.С. Кауричев, Н.П. Панов, Н.Н. Розов и др. М.: Агропромиздат, 1989.-719 с.

18. Аниканова, З.Ф. Ячмень для крупяного производства/ З.Ф. Аниканова, Т.В. Горпинченко// Хлебопродукты. – 2002. - №11. С. 9-13.

19. Мальцев, В.Ф. Системы биологизации земледелия Нечерноземной зоны России. (Часть 1) / В.Ф. Мальцев, М.К. Каюмов, Е.В. Просянных и др. – М.: ФГНУ Росинформагротех, 2002. – 544 с.

20. Рекомендации. Технологии возделывания ячменя на пивоваренные цели/ Рос. акад. с.-х. наук, Всерос. науч.-исслед. ин-т зернобобовых и крупяных культур, Орлов. гос. аграр. ун-т. – Орел: Syngenta, 2006. – 123 с.

21. Дериглазова, Г.М., Проценко Е.П. Получение ярового ячменя заданного качества на склоновых землях/ Г.М. Дериглазова, Е.П. Проценко// Земледелие. - 2010.-№1 С.27-29.

22. Кадыров, М.А. Ячмень: Как, где, когда... и всегда с прибылью/ М.А. Кадыров, В.Г. Сенченко, А.М. Кадыров, Ф.Н. Батуро// Современные технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. материалов. – Мн.: ИВЦ Минфина. – 2005 – С. 80-91

23. Жученко, А.А. Фундаментальные и прикладные научные приоритеты адаптивной интенсификации растениеводства в XXI веке/ А.А.Жученко. – Саратов: ООО “Новая газета”, 2000. – 275 с.

24. Шпаар, Д. Зерновые культуры/ Д. Шпаар, Ф. Элмер, А.Н. Постников и др. – Мн.: ФУ Аинформ, 2000. – 421 с.

25. Сенченко, В.Г. Возделывание пивоваренного ячменя в Республике Беларусь: Аналитический обзор/ В.Г. Сенченко. – Минск, 2002. – 44 с.

26. Система удобрений ячменя в интенсивном земледелии. – Минск: Ураджай, 1992. – 24 с.

27. Смирнов, А.П. Изучение условий питания новых сортов ячменя/ А.П. Смирнов, Э.Н. Садовская, И.П. Стокозов// Агрехимический вестник. – 2010. – №3. – С.19-22.

28. Храмцов, И.Ф., Кошелев, Б.С. Эффективность производства пивоваренного ячменя в Западной Сибири/

И.Ф. Храмцов, Б.С. Кошелев// Зерновое хозяйство. – 2001. – №4. — С.10-11.

29. Беляков, И.И. Ячмень в интенсивном земледелии/ И.И. Беляков. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 175 с.

30. Дудинцев, Е.В. Особенности технологии возделывания пивоваренного ячменя/ Е.В. Дудинцев, В.Н. Федорищев, Н.А. Старовойтов, А.С. Каланчина, С.А. Башлаков// АгроXXI. – 2001. – №9. – С.20-21

31. Сидоров, М.И. Научные и агротехнические основы севооборотов/ М.И. Сидоров, Н.И. Зезюков. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1993. – 104 с.

32. Свиридов, А.К. Засоренность посевов в специализированных севооборотах и при монокультуре. Научные труды. / А.К. Свиридов// НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева, т.16. - вып.1. – Каменная Степь, 1979. – С.102-106.

33. Дудкин, И.В. Роль севооборота в снижении засоренности посевов/ И.В. Дудкин// Материалы междунаучно-практической конф. (Курск, 23-25 января 2008 г., ч.1). – Курск, 2008. – С.149-150.

34. Власенко, Н.Г. Приемы агротехники, способствующие оптимизации фитосанитарного состояния посевов ячменя/ Н.Г. Власенко, Т.П. Садохина, // Земледелие. – 2010. – №6. С.30-31

35. Мельник, А.Ф. Биологизированная технология– залог получения высокоурожайного ячменя/ А.Ф. Мельник, Б.С. Кондрашин, А.А. Юшин// Земледелие. – 2006. – №5. – С.22.

36. Вареница, Е.Т. Короткостебельный сорт Московская 70 / Е.Т. Вареница, К.И. Саранин, В.Е. Ториков// Зерновые культуры. – 1993. – №4. – С.10-11

37. Ерошенко, Л.М. Использование сортовых признаков в селекции пивоваренного ячменя на повышение уро-

жайности и качества/ Л.М. Ерошенко, А.Н. Ерошенко и др. // Сб. Проблемы селекции и технологии возделывания зерновых культур. Матер, науч. конф. Новоивановское (Немчиновка), НИИСХ ЦРНЗ. – 2008. – С.140-146.

38. Кадыров, А.М. Рекомендации по уходу за посевами и уборке пивоваренного ячменя/А.М. Кадыров// Белорусское сельское хозяйство. Минск, 2007. - №6. - С.42-46.

39. Сурин, Н.А. Селекция зерновых культур на качество и пути ее решения в Восточной Сибири/ Н.А. Сурин. – Новосибирск: СибНИИРС, 2002. – С.14-19.

40. Заушинцева, А.В. Значение исходного материала в селекции ярового ячменя на скороспелость в сочетании с высокой продуктивностью/ А.В. Заушинцева // Повышение эффективности селекции и семеноводства с.-х. растений: Докл. и сообщ. генетико-селекц. шк. – Новосибирск: СибНИИРС НГАУ, 2002. – С.196-198.

41. Лахтиков, Н.И. Урожай и качество зерна ячменя при разном уровне минерального питания/ Н.И. Лахтиков// Сб. науч. тр. Беларус. с.-х. акад. – 1982. – №92. – С.80-84.

42. Кюйте, Х.Д. Яровой ячмень/ Х.Д. Кюйте, И.В. Кюйте// Селекция и семеноводство. – 1981. – №7. – С.27.

43. Державин, Л.М. Химизация и экология/ Державин Л.М. // Химизация сельского хозяйства. – 1991. – №7. – С. 3-8.

44. Грен, А.Н. Влияние расчетной дозы минеральных удобрений на питание, урожай и качество зерна озимой ржи Саратовская-5 / А.Н. Грен, Н.И. Крончев// Оптимизация применения удобрений и обработка почвы в условиях Лесостепи Поволжья. – Ульяновск: Ульяновский СХИ, 1995. – С.27-34.

45. Минеев, В.Г. Агрохимия. 2-е изд., перераб. и доп. / В.Г. Минеев– М.: Изд-во МГУ, 2004. – 720 с.

46. Белоус Н.М. Урожайность зерна сортов ярового ячменя в зависимости от условий возделывания. / Н.М. Белоус, В.В. Ториков // Вестник «БГСХА». – 2011. - №2. – с. 41 – 45.

47. Ториков В.В. Совершенствование технологии возделывания ярового ячменя на крупяные и пивоваренные цели в условиях биологизации Юго-Западной части Центрального региона России. / В.В. Ториков // Автореф. дисс. на соиск. ученой степени к. с.-х. н., Брянск, 2012. - 24 с.

48. Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям. – Л.: Гидрометеиздат, 1973.

49. Мичурин Б.Н. Энергетика почвенной влаги. /Б.Н. Мичурин. Л.:1975-136 с.

50. Максимов Н.А. Краткий курс физиологии растений. / Н.А. Максимов.// М.: 1948.

51. Hiler E.A. Irrigation timing by the stress day index method / E.A. Hiler, T.A. Howel, R.B lews, R.P Boos // Frans. ASAE. 1974. vol. 17. N. 3. – 393 – 398 p.

52. Лосев А.П., Журина Л.Л. Агрометеорология. М.: КолосС, 2004. – 301 с.

Учебное издание

Ториков Владимир Ефимович  
Пакшина Светлана Михайловна  
Ториков Владимир Владимирович

**Устойчивость ярового ячменя  
к стрессовым факторам среды**

Редактор Лебедева Е.М.

---

Подписано к печати 23.09.2014 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага печатная. Усл. п. л. 4,12. Тираж 50 экз. Изд. № 2833.

---

Издательство Брянской государственной сельскохозяйственной академии  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянская ГСХА