

УДК 633.11:631.559:551.5(571.54)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ ПШЕНИЦЫ ПО КЛИМАТИЧЕСКИМ РЕСУРСАМ СУХОЙ СТЕПИ БУРЯТИИ НА ОСНОВЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПОЛЕВОГО ОПЫТА

Билтуев А.С.^{1,2}, Гаркушева Н.М.^{1,2}, Хутакова С.В.^{1,2}, Цыбенков Б.Б.¹

¹ГНУ «Бурятский НИИСХ», Улан-Удэ, Россия (670045, г. Улан-Удэ, ул. Третьякова, 25з), e-mail: svetlana-x1@mail.ru

²ФГБОУ ВПО «Бурятская ГСХА имени В.Р. Филиппова», Улан-Удэ, Россия (670034, г. Улан-Удэ, ул. Пушкина, 8)

Жесткие климатические условия, сопутствующие росту и развитию яровой пшеницы на ранних этапах развития, высокая степень их изменчивости, низкое плодородие зональных каштановых почв вызывают определенный риск ведения зернового хозяйства в условиях сухостепной зоны Бурятии. На базе длительного полевого агрохимического опыта (1968-2013 гг.) проведен анализ влияния условий тепло- и влагообеспеченности на рост и развитие яровой пшеницы. Наиболее критическими по этим факторам являются периоды: первая декада июня (фаза кущения); третьи декады июня (фаза выхода в трубку), июля (фаза цветения) и августа (фаза молочной спелости). Построены производственные функции продуктивности яровой пшеницы в условиях сухой степи на разных вариантах применения удобрений, прогнозирующие ее потенциальную урожайность во время прохождения различных этапов развития.

Ключевые слова: сухая степь, яровая пшеница, температура, осадки, удобрения, продуктивность.

SIMULATION OF WHEAT PRODUCTIVITY ON CLIMATE RESOURCES OF DRY STEPPE OF BURYATIA ON THROUGH LONG-TERM FIELD EXPERIMENTS

Biltuev A.S.^{1,2}, Garkusheva N.M.^{1,2}, Hutakova S.V.^{1,2}, Tsybenov B.B.¹

¹Scientific and Research Institute of Agriculture of the RAAS, Ulan-Ude, Russia (670045, Ulan-Ude, Tretyakov st., 25 z)

²Buryat State Agricultural Academy VR Filippov, Ulan-Ude, Russia, (670034, Ulan-Ude, Pushkin st., 8), e-mail: svetlana-x1@mail.ru

Severe climatic conditions, that accompany growth and development of spring wheat in the early stages of development, a high degree of their variability, the low fertility of the zonal chestnut soils, cause some risk of doing grain farming in the dry steppe zone of Buryatia. Analyzed the influence of the conditions of heat and humidity on the growth and development of spring wheat on the basis of long-term agrochemical fieldwork experience in (1968-2013). The most critical of these factors are periods: the first decade of June (Z 21-25); third decade of June (Z 31-36), July (Z 61-69) and August (Z 73-77). Models of spring wheat productivity in dry steppes on different variants fertilizers, that can predict of its potential yield in the various stages of development, were constructed.

Keywords: dry steppe, spring wheat, temperature, atmospheric precipitation, fertilizer, productivity.

Возделыванию зерновых культур в сухой степи Бурятии сопутствуют сложные почвенно-климатические условия. Низкое плодородие каштановых почв, жесткий гидротермический режим в период вегетации: засушливый весенне-раннелетний период, большие амплитуды колебаний суточных температур, неравномерность выпадения осадков по фазам развития - существенно ограничивают продуктивность культур. Высокая изменчивость погодных условий вызывает и значительную вариабельность урожайности. Статистических исследований по определению степени влияния климатических факторов на продуктивность зерновых культур в условиях сухостепной зоны проведено крайне мало [1; 2; 4]. Подобные исследования, основанные на значительной выборке, имеют не только высокую теоретическую значимость для растениеводства зерновых культур в сухостепных

зонах, но и экономическую - позволяют прогнозировать объемы производства зерна при складывающихся метеорологических условиях [5; 6].

Цель исследования. На основе многолетних наблюдений провести анализ влияния климатических условий сухой степи Бурятии на рост и развитие яровой пшеницы с построением прогностических моделей ее продуктивности на разных вариантах применения удобрений.

Методика исследований. Изучение связей зерновой продуктивности пшеницы с климатическими условиями периода вегетации проведено нами на основе данных продолжающегося многолетнего полевого агрохимического опыта (1968-2013 гг.), заложенного в сухостепной зоне Бурятии (БурНИИСХ). В статистическом исследовании изучалась степень влияния различных показателей увлажнения и теплообеспеченности воздуха и почвы на продуктивность пшеницы, возделываемой по пару. Для целей моделирования из 13 вариантов полевого опыта отобраны три: контроль - без удобрений, при внесении органических (навоз 40т) и минеральных удобрений (N40P40K40). Опыт проводится на каштановых почвах, обладающих низким потенциальным плодородием (содержание гумуса - $1,35 \pm 0,11\%$, общего азота - $0,12 \pm 0,01\%$), близкой к нейтральной реакцией среды ($pH_{\text{вод.}} 6,5 \pm 0,1$), высоким содержанием подвижного P_2O_5 (231 ± 22 мг/кг) и обменного K_2O (101 ± 14 мг/кг) по Чирикову.

Климатические условия в период исследований ($n = 45$ лет) менялись согласно определенным трендам глобального характера. Динамика показателей теплообеспеченности (среднемесячные температуры воздуха, суммы эффективных и активных температур) в долгосрочной ретроспективе имеет линейный характер возрастания при относительно низкой вариабельности их значений. В целом зерновые культуры в достаточной степени обеспечены тепловыми ресурсами для нормального роста и созревания. Основным фактором, лимитирующим продуктивность растений в сухой степи, является дефицит увлажнения на ранних стадиях развития, а в отдельные годы - и в периоды цветения и формирования зерна. Тренд условий влагообеспеченности более сложен и представлен полиномиальной регрессией четвертой степени. В целом наблюдалась определенная закономерность в распределении ресурсов тепла и влаги в период вегетации пшеницы (рис.1). Дефицит увлажнения, характерный для мая и начала июня, при резком росте среднесуточных температур и интенсивных сухих ветрах приводит к атмосферной засухе. На этой стадии наиболее важным условием является наличие доступной почвенной влаги в период посева.

Начиная с третьей декады июня условия вегетации становятся более благоприятными, увеличению количества осадков соответствует и рост температур.

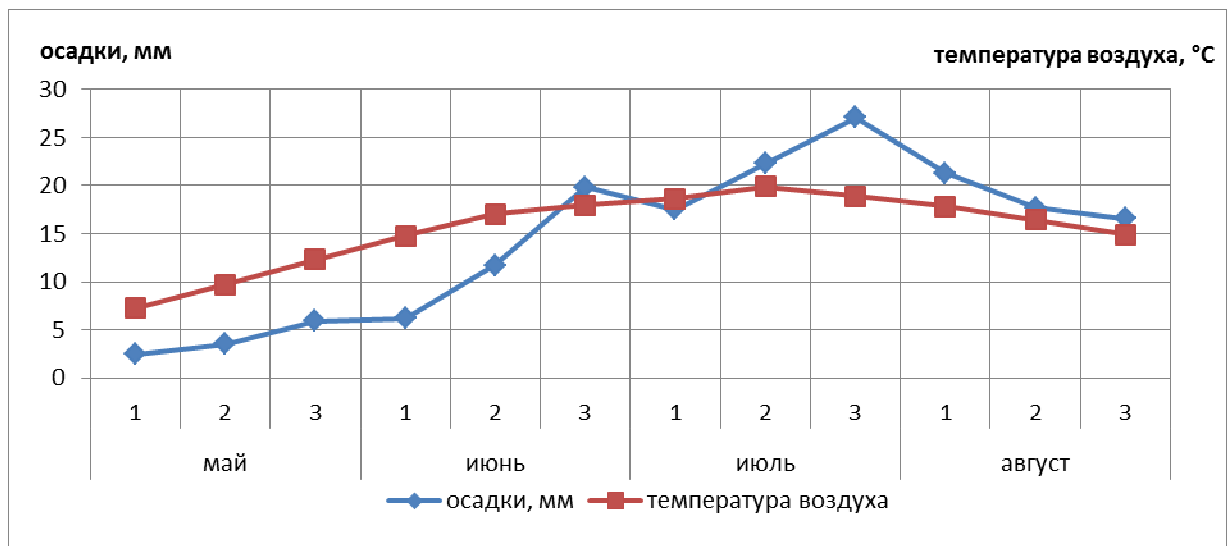


Рис. 1. Среднемноголетние значения количества осадков и температур воздуха (1968-2013 гг.).

Содержание продуктивной влаги в пахотном слое почвы зависит от запасов, сохранившихся с прошлого года, скорости и размеров перемещения влаги по профилю почвы, количества выпавших осадков и эвапотранспирационных потерь. Среднемноголетняя динамика влажности почвы под вегетирующими культурами характеризуется относительно постоянными неудовлетворительными ее запасами в пахотном горизонте (менее 20 мм) с мая по август. Запасы влаги снижаются с разной величиной регрессии в более глубоких горизонтах (рис. 2). В целом в период активного водопоглощения запасы влаги в почве оцениваются как плохие или неудовлетворительные.

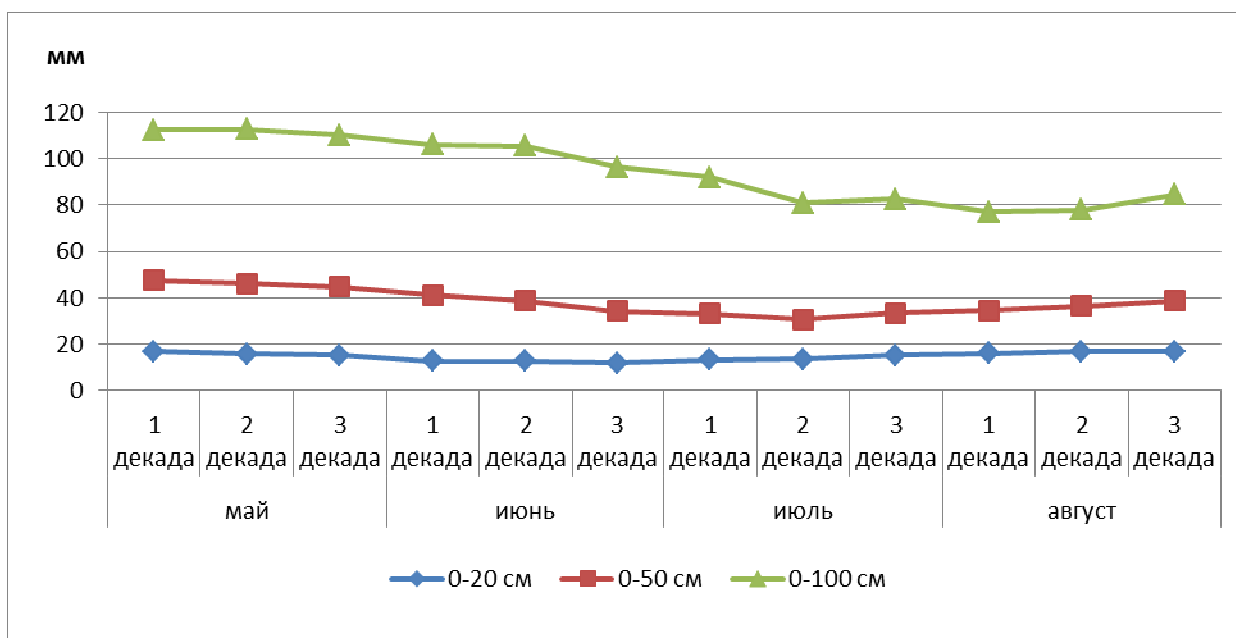


Рис. 2. Динамика продуктивной влаги в различных слоях почвы под пшеницей по пару (ср. 1968 – 2013 гг.).

Пшеница при благоприятных условиях увлажнения и температур всходит на 10-й день. В наших условиях, при посеве в оптимальные сроки, полные всходы пшеницы отмечаются на 15-17-й день (III декада мая). Первый период развития зерновых

характеризуется слабым ростом надземной массы и корней. Кущение пшеницы обычно наступает через 12 -17 дней после появления всходов, соответственно в I и III декадах июня. В засушливых условиях этот период растягивается до 30 дней. Выход в трубку или стеблевание отмечается у пшеницы в среднем через 5 дней после полных всходов (II декада июня) и продолжается около 30 дней до I-II декады июля, когда отмечается фаза колошения. Цветение пшеницы происходит в середине июля. Молочная спелость в среднестатистических условиях наступает через 20-25 дней после фазы полного цветения в I-III декадах августа, формирование зерна до полной спелости происходит в течение 30-35 дней. В условиях засухи срок прохождения генеративных фаз резко сокращается.

Результаты исследований. В соответствии со складывающимися метеорологическими условиями и содержанием почвенной влаги в период вегетации формируется определенный уровень продуктивности пшеницы (рис. 3).

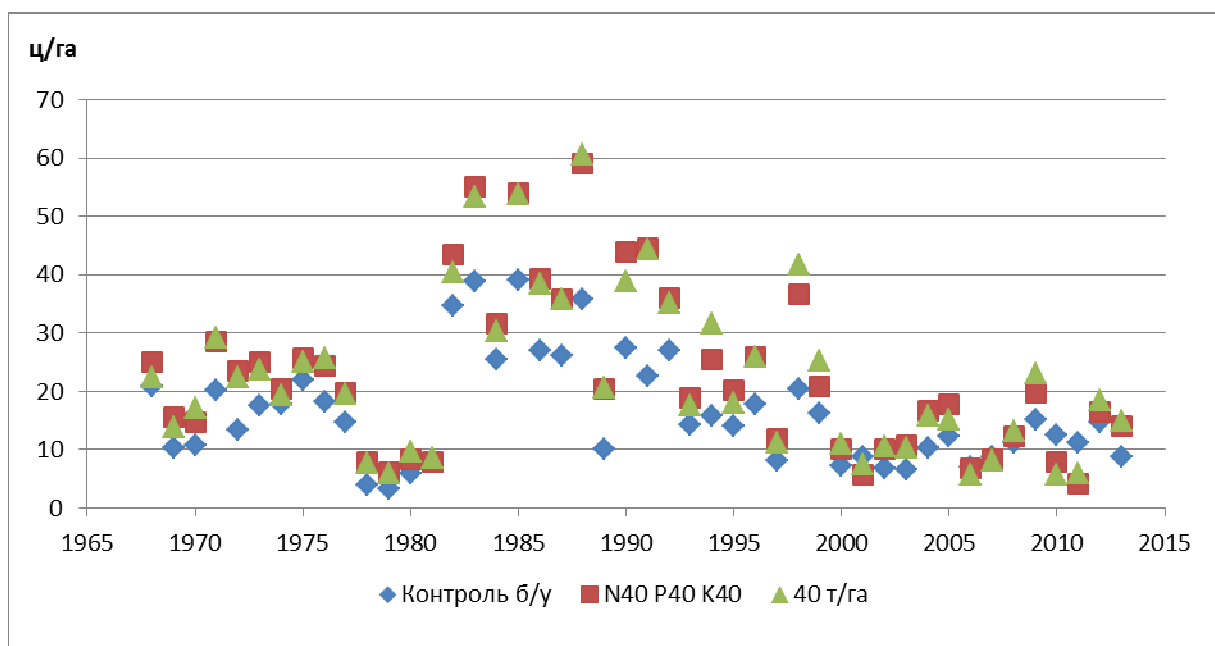


Рис. 3. Динамика урожайности зерна пшеницы в длительном опыте с удобрениями.

Урожайность зерна пшеницы в целом за весь период исследований на контрольном варианте находилась на уровне $16,3 \pm 1,4$ ц/га при очень высокой вариабельности значений ($V=56,1\%$). Внесение как органических (навоз 40т), так и минеральных удобрений (N40P40K40) оказало практически схожий эффект и позволило повысить урожай соответственно до $22,5 \pm 2,1$ и $22,6 \pm 2,1$ ц/га, при этом вариабельность значений также увеличилась до 62%.

Корреляционный анализ влияния параметров тепло- и влагообеспеченности отдельных периодов вегетации на продуктивность пшеницы позволил выявить критические периоды в развитии культуры, условия прохождения которых определяют урожай зерна.

Относительно большая выборка ($n=45$) данных обеспечивает достоверность выявленных зависимостей урожайности пшеницы с показателями климата (табл. 1-2).

1. Рост средних температур в первой декаде июня достоверно снижал продуктивность пшеницы за счет усиления атмосферной засухи ($r = -0,43\dots-0,46$). Основным фактором, регулирующим урожай пшеницы в этот период, является наличие влаги в зоне узла кущения, при ее недостатке узловые корни не образуются. Способность образовывать эти корни у яровой пшеницы ограничивается довольно коротким периодом – от формирования узла кущения до выхода в трубку – I-II декады июня.

2. Уровень прибавок пшеницы вне зависимости от систем удобрений зависел от количества осадков, выпавших в третьей декаде июня. По многолетним фенологическим наблюдениям, этот период совпадает с фазой выхода в трубку, когда происходит формирование репродуктивных органов пшеницы - закладывается число колосков в колосе и цветков в колосках. В наших условиях в большинстве случаев первый максимум осадков (рис. 1) совпадал именно с этим критическим периодом. Корреляционные связи количества осадков (III декада июня) и урожайности зерна были значимыми и средними по всем вариантам опыта ($r = 0,39\dots0,40$). Соответственно осадкам, значимо влияние и температур воздуха в этот период ($r = -0,50\dots-0,52$).

3. Другой критический период отмечен в третьей декаде июля, который совпадает с фазой начала цветения. Снижение влажности воздуха ниже критической, как следствие роста среднесуточных температур и сокращения выпадающих осадков, увеличивает стерильность пыльцы и соответственно озерненность колоса [3]. Корреляционные связи продуктивности с количеством осадков были значимыми и средними по значению ($r = 0,37\dots0,40$).

4. Значимое влияние на продуктивность оказывали и осадки в третьей декаде августа. В это время происходит налив семян пшеницы, конечный урожай формируется за счет природы зерна. Влияние на урожайность выпадающих осадков было достоверным и средним ($r = 0,34\dots0,43$), причем удобренные варианты отличались большей отзывчивостью к осадкам (табл. 1).

Продуктивная влага в почве к моменту посева не оказывала существенного влияния на зерновую продуктивность, по всей видимости, из-за относительно стабильных ее запасов после парового поля.

Из более общих климатических показателей существенное влияние на урожай зерна пшеницы оказали температура и осадки за летние месяцы, соответственно и среднее ГТК (табл. 2). Корреляции урожая с суммами активных и эффективных температур были

средними по силе и обратными по значению. Ввиду недостатка влаги рост температур оказывал негативное влияние на продуктивность пшеницы.

Взаимное влияние удобрений и климатических ресурсов на урожай было незначительным. Отметим лишь большую отзывчивость урожая удобренных вариантов на количество выпадающих осадков за май – август ($r = 0,62 \dots 0,64$) относительно контроля ($r = 0,58$). Аналогичная тенденция выявлена и по температурам за июнь – июль.

Моделирование урожайности пшеницы по наиболее значимым признакам позволяет спрогнозировать урожайность по климатической ситуации в конце каждого летнего месяца. В качестве предикторов уравнения выступают признак-факторы, в наибольшей степени ограничивающие потенциальную урожайность: условия увлажнения и теплообеспеченности за прошедший период.

На конец июня потенциальная урожайность зерна пшеницы, по вариантам опыта, определялась следующими многофакторными линейными уравнениями:

$$0\text{-без удобрений} - Y(\text{ц/га}) = 57,6 + 0,15W_{VI} - 2,84t_{VI}, r^2=0,58;$$

$$P20 + N40P40K40 - Y(\text{ц/га}) = 90,3 + 0,22 W_{VI} - 4,60 t_{VI}, r^2=0,59;$$

$$P20 + \text{навоз } 40 \text{ т} - Y(\text{ц/га}) = 84,7 + 0,22W_{VI} - 4,32 t_{VI}, r^2=0,56;$$

На конец июля возможность получения зерна пшеницы определялась моделями:

$$0\text{-без удобрений} - Y(\text{ц/га}) = 93,3 + 0,07W_{VI-VII} - 4,74 t_{VI-VII}, r^2=0,65;$$

$$P20 + N40P40K40 - Y(\text{ц/га}) = 146,6 + 0,11 W_{VI-VII} - 7,62 t_{VI-VII}, r^2=0,72;$$

$$P20 + \text{навоз } 40 \text{ т} - Y(\text{ц/га}) = 137,5 + 0,12W_{VI-VII} - 7,14 t_{VI-VII}, r^2=0,70;$$

На конец августа аналогичные модели урожайности пшеницы имели вид:

$$0\text{-без удобрений} - Y(\text{ц/га}) = 82,8 + 0,06W_{VI-VIII} - 4,42 t_{VI-VIII}, r^2=0,59;$$

$$P20 + N40P40K40 - Y(\text{ц/га}) = 126,4 + 0,10W_{VI-VIII} - 6,97 t_{VI-VIII}, r^2=0,62;$$

$$P20 + \text{навоз } 40 \text{ т} - Y(\text{ц/га}) = 116,9 + 0,10W_{VI-VIII} - 6,45 t_{VI-VIII}, r^2=0,61.$$

В моделях признак-факторы: W_{VI} , W_{VI-VII} , $W_{VI-VIII}$ – количество выпавших осадков соответственно за июнь, июнь – июль, июль – август; t_{VI} , t_{VI-VII} , $t_{VI-VIII}$ – средняя температура воздуха за обозначенные периоды наблюдений.

Заключение. Соотношение коэффициентов регрессии (a_1, a_2, \dots, a_n) в линейных многофакторных моделях вида $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2, \dots + a_nx_n$ выявляет степень влияния различных предикторов на результирующий фактор. Наибольшее воздействие на урожай пшеницы оказывали осадки в начале вегетации (июнь). При типичном дефиците увлажнения в этот период каждые 10 мм выпавших осадков повышали урожай на 1,5-2,2 ц/га, в последующем их влияние несколько сокращалось. Значимость температурного фактора нарастала к июлю и снижалась к августу. Так, рост средних температур воздуха на каждый 1°C в июне снижал урожай зерна на 2,8-4,6 ц/га, а уже в среднем за июль-июль этот

показатель составлял 4,7-7,6 ц/га. Удобренные варианты в условиях сухостепной зоны обладали большей потенциальной урожайностью, но также в большей степени реагировали на изменения количества осадков и средних температур, чем вариант без внесения удобрений.

Модели продуктивности зерновых культур требуют постоянного улучшения за счет расширения базы данных, увеличения количества признак-факторов. В качестве которых могут быть привлечены специфические климатические характеристики среды; показатели агрофизических, агрохимических и биологических параметров и режимов почвы; интенсивности физиологических процессов: транспирации, фотосинтеза, дыхания и др. Необходимость поиска других предикторов вызвано тем, что комплексное воздействие рассматриваемых выше климатических условий на продуктивность зерновых культур не превышало 72%, влияние других факторов осталось неучтенным. Между тем верификация моделей показала высокую степень их достоверности, они могут использоваться для практического применения при прогнозировании урожайности культур по общедоступным метеорологическим показателям.

Список литературы

1. Билтуев А.С., Будажапов Л.В., Норбованжилов Р.Д., Цыдыпов Б.Д. Статистические показатели и модели диагностики полевой всхожести овса в земледелии сухой степи // Плодородие. - 2012. - № 2. - С. 23-24.
2. Дабаева М.Д., Цыбенков Б.Б., Билтуев А.С. Влияние климатических факторов на продуктивность яровой пшеницы в условиях сухой степи Бурятии // Сибирский вестник с/х науки. - 2010. - №11. - С.17-24.
3. Кумаков В.А. Биологические основы возделывания яровой пшеницы по интенсивной технологии. – М.: Росагропромиздат, 1988. - 102 с.
4. Лапухин Т.П., Билтуев А.С., Рузавин Ю.Н. Влияние климатических факторов на зерновую продуктивность овса в условиях сухостепной зоны Бурятии // Длительное применение удобрений. Агрохимические, агрономические и экологические аспекты. V Сибирские агрохимические Прянишниковские чтения, посвященные 145-летию Д.Н. Прянишникова: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 12-16 июля 2010г.) / Россельхозакадемия. Сиб. отд-ние. - Новосибирск, 2011. - С. 83-90.
5. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. – Л.: Гидрометеоздат, 1981 – 167 с.
6. Hoogenboon G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications // Agril. and For. Meteorol. - 2000. - 103 : 137-157.

Рецензенты:

Будажатов Л.-З.В., д.б.н., директор ГНУ «Бурятский НИИСХ Россельхозакадемии», профессор кафедры растениеводства, луговодства и плодовоовощеводства ФГБОУ ВПО «Бурятская ГСХА им. В.Р. Филиппова», г. Улан-Удэ;

Убугунова В.И., д.б.н., ведущий научный сотрудник ИОЭБ СО РАН, профессор кафедры почвоведения и агрохимии ФГБОУ ВПО «Бурятская ГСХА им. В.Р. Филиппова», г. Улан-Удэ.