

3
НОМЕР

БОИЦ

ISSN 2304-9081

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ
On-line версия журнала на сайте
<http://www.elmag.uran.ru>



2017
ГОД ЭКОЛОГИИ
В РОССИИ

БЮЛЛЕТЕНЬ

ОРЕНБУРГСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРО РАН



2017

УЧРЕДИТЕЛИ

УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН
ОРЕНБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР УРО РАН

© А.А. Неверов, 2017

УДК: 557.5:633.16:631.559/470.56

А.А. Неверов

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯЧМЕНЯ В ВОСТОЧНОЙ ЗОНЕ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

Оренбургский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Оренбург, Россия

Цель. Разработать математические модели связи урожайности зерна ячменя с погодно-климатическими условиями восточной зоны Оренбургской области.

Материалы и методы. Для решения поставленных задач была использована информация длительных рядов урожайности ячменя Адамовского района Оренбургской области (1935-2016 гг.), а так же материалы агрометеорологических бюллетеней Оренбургского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (метеостанция - п. Адамовка). Применялись методы многомерного регрессионного анализа.

Результаты. Впервые разработаны математические модели связи: тренда урожайности ячменя с климатическими факторами и урожайности с погодными факторами Адамовского района Оренбургской области.

Заключение. Погодные условия со 2-ой декады июня по 1-ую декаду июля внесли наибольший вклад в дисперсию урожайности ячменя - более 50% изменений резульативного признака пришлось на этот период, преобладает негативная тенденция роста среднесуточной температуры воздуха и его сухости.

Ключевые слова: климат, тенденция, температура, осадки, сельскохозяйственная культура, ячмень, урожайность, регрессия.

A.A. Neverov

INFLUENCE OF WEATHER FACTORS ON THE PRODUCTIVITY OF BARLEY IN THE EASTERN ZONE OF ORENBURG REGION

Orenburg scientific research Institute of agriculture, Orenburg, Russia

Objective. To develop mathematical models of the relationship of grain yield of barley with the weather and climatic conditions of the Eastern zone of Orenburg region.

Materials and methods. To solve the set tasks were used the information of long series of yield of barley adamovsky district of Orenburg region (1935-2016.), as well as materials of agrometeorological bulletins of the Orenburg regional center for Hydrometeorology and environmental monitoring (weather station - p. Adamivka). We have applied the methods of multivariate regression analysis.

Results. First developed a mathematical model of communication: trend in the yield of barley with climatic factors and crop yields and weather factors in adamovsky district of Orenburg region.

Conclusion. Weather conditions from the 2nd decade of June to the 1st decade of July has made the greatest contribution to the variance of the yields of barley - more than 50% change of resultant variable had on this period, there is a negative growth trend of daily average air temperature and dryness.

Key words: climate, trend, temperature, precipitation, agricultural crop, millet, yield, regression.

Введение

В условиях неустойчивого и недостаточного обеспечения агроценозов природными ресурсами, а порой и экстремального их проявления прогнозирование факторов, определяющих продуктивность посевов в отсутствии возможности управления этими ресурсами, является практически единственным возможным выходом минимизации затрат и оптимизации агротехнологий для таких регионов, как Оренбургская область.

Этой цели подчиненно компьютерное моделирование урожайности агрокультур в задаче множественной регрессии от факторов погоды как первый этап, выявляющий факторы, детерминирующие в данных условиях результирующий признак.

Возможности прогнозирования, показанные нами в ранних работах [1-7] как предиктанта, так и предикторов, его определяющих, позволяют земледельцу заблаговременно до начала проведения полевых работ принимать верные управленческие решения по оптимизации агротехнологий.

Материалы и методы

Для решения поставленных задач использована информация длительных временных рядов урожайности ячменя Адамовского района Оренбургской области (1935-2016 гг.), а так же материалы агрометеорологических бюллетеней Оренбургского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (метеостанция - п. Адамовка). Применялись методы многомерного регрессионного анализа программы «Statistica» и «NCSS». В качестве независимых переменных определены осадки, температура воздуха: среднесуточная, максимальная и минимальная, дефицит влажности воздуха. Показатели погодных условий рассчитывались по декадам и месяцам, а также использовались их преобразованные значения за различные периоды сельскохозяйственного года – интегральные значения, обратная функция, логарифмирование, а также квадратичная форма предиктантов.

Для расчёта тренда и отклонений от него использовался метод гармонических весов в авторской программе «Prognostics v.5»

Результаты и обсуждение

Стандартизованные β -коэффициенты (бэта-коэффициент) регрессии показывают на сколько сигм (стандартных отклонений) изменится в среднем результат, если соответствующий фактор X_j изменится на одну сигму при

неизменном среднем уровне других факторов [8, 9]. В силу того, что все переменные заданы как центрированные и нормированные, стандартизованные коэффициенты регрессии сравнимы между собой. Сравнивая их друг с другом, можно ранжировать факторы по силе их воздействия на результат (табл. 1).

Таблица 1. Влияние погодных условий на урожайность зерна ячменя (1940-2016 гг.)

| Предикторы | Стандартизованный β -коэффициент регрессии | Доля влияния фактора - Δ -коэффициент, % | Регрессия | | |
|---|--|---|------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| | | | Коэффициенты регрессии | T - критерий оценки коэффициентов | P - уровень достоверности |
| Начальная ордината | - | - | 396,754 | 14,2 | 0,000 |
| Темп. воздуха 2-й дек. июня, °С | -0,27 | 27,6 | -4,0885 | -4,8 | 0,000 |
| Темп. воздуха 3-й дек. июня, °С | -0,22 | 3,6 | -3,9050 | -3,8 | 0,000 |
| Темп. воздуха сентября, °С | -0,19 | 4,5 | -4,3485 | -3,4 | 0,001 |
| Осадки 3-й дек. января, мм | -0,17 | 0,02 | -1,0143 | -3,3 | 0,002 |
| Осадки 1-ой дек. февраля, мм | 0,15 | 1,8 | 0,9363 | 2,8 | 0,007 |
| Осадки 1-ой дек. марта, мм | 0,19 | 0,07 | 0,9517 | 3,6 | 0,001 |
| Осадки 1-ой дек. мая, мм | 0,19 | 5,9 | 0,7717 | 3,5 | 0,001 |
| Осадки 2-ой дек. мая, мм | 0,15 | 6,8 | 0,3917 | 2,9 | 0,006 |
| Осадки июня, мм | -0,14 | 0,5 | -0,2790 | -2,6 | 0,013 |
| Осадки 1-ой дек. июля, мм | -0,34 | 0,06 | -0,9883 | -5,6 | 0,000 |
| Осадки 2-ой дек. сентября, мм | 0,43 | 9,1 | 1,6240 | 7,1 | 0,000 |
| Дефицит вл. воздуха 1-ой дек. июля, мб | -0,57 | 20,7 | -5,7922 | -9,5 | 0,000 |
| Темп. воздуха 1-й дек. ноября пр. г., °С | -0,19 | 2,1 | -2,1766 | -3,6 | 0,001 |
| Темп. воздуха 1-й дек. декабря пр. г., °С | 0,21 | 4,5 | 1,9150 | 4,2 | 0,001 |
| Осадки 1-ой дек. сентября пр.г., мм | -0,15 | 1,6 | -0,6902 | -2,7 | 0,009 |
| Коэффициент детерминации – $R^2=0,89$ Критерий F = 27 Стандартная ошибка оценки - $\pm 16,0$ % | | | | | |

Установлено, что за последние 67 лет в Адамовском районе пятнадцать погодных факторов, вошедших в уравнение множественной регрессии, определяли 89% дисперсии урожайности ($R^2=0,89$). Оценка параметров коэффициентов регрессии независимых переменных показывает их высокую достоверность на уровне $p < 0,05$, а также по фактическому t -критерию Стьюдента от 2,6 до 14,2 в абсолютном значении, что больше табличного значения t -критерия, равного 2,0.

В идеальном случае коэффициент детерминации должен приближаться к единице (функциональная зависимость), однако при этом число предикто-

ров, вошедших в уравнение может значительно возрасти до 30 и более, что нарушит общепринятое в статистическом анализе соотношение длины ряда наблюдений к количеству предиктантов, которое не должно быть меньше 6-7 единиц, хотя наш многолетний опыт говорит о большой условности этого постулата. Тем не менее, исходя из личного опыта, считаем, что в данном случае важно выделить наиболее значимые факторы погодных условий, определяющих урожайность ячменя, и проследить тенденции развития этих факторов во времени.

Также важно принять во внимание и то обстоятельство, что в разные годы посевы ячменя занимали различную площадь, изменялась технология возделывания сельскохозяйственной культуры (способы обработки почвы, сорта, сроки сева, плодородие почвы и др.). Кроме того мог влиять и субъективный фактор ошибки учёта урожая: с посевной или с уборочной площади, и просто в результате механической ошибки при написании отчётов. Думается, неучтённые нами случайные факторы в той или иной мере внесли свой вклад в дисперсию урожайности.

Наибольшую силу воздействия на урожайность ячменя показали следующие погодные факторы: дефицит влажности воздуха 1-ой декады июля со значением стандартизованного коэффициента -0,57, осадки 2-ой декады сентября – 0,43, осадки 1-ой декады июля – 0,34, температура воздуха 2-ой декады июня – -0,27 и 3-ей декады июня – -0,22. Наиболее высокие стандартизованные коэффициенты регрессии наблюдались в основном в июне и июле, когда напряжённость и сила воздействия погодных условий на растения была наибольшей.

В статистическом анализе важно знать не только силу воздействия фактора, но и частоту его воздействия (долю влияния) на результативный признак. Долю влияния фактора в суммарном влиянии всех факторов принято оценивать по величине *дельта - коэффициентов*(Δ_j):

$$\Delta_j = r_{y,x_j} \cdot \beta_j / R^2, \quad (1)$$

где r_{y,x_j} — коэффициент парной корреляции между фактором j ($j = 1, \dots, m$) и зависимой переменной.

Ранжирование погодных факторов по доле влияния в объяснённой дисперсии урожайности в порядке убывания может не совпадать с силой воздействия фактора на урожай. Чаше других погодных факторов за последние 67

лет в изменчивость урожайности ячменя внесли условия июня: температура воздуха 2-ой декады – 27,6% и 3-ей декады – 3,6%, осадки июня – 0,5% в сумме – 31,7%.

Следующие по частоте влияния на урожайность ячменя – погодные факторы: дефицит влажности воздуха 1-ой декады июля - 20,7%. Таким образом, погодные условия со 2-ой декады июня по 1-ую декаду июля в Адамовском районе оказали значительную роль в формировании урожайности ячменя – более 50% дисперсии результативного признака пришлось на этот период.

Вошедшие в модель независимые переменные (предикторы) охватывают различные этапы роста и развития растений ячменя (табл. 2).

Таблица 2. Описательная статистика предикторов регрессионной модели (1935-2016 гг.)

| Предикторы | Количество наблюдений | Среднее | Минимум | Максимум | Стд. откл. | K _v |
|---|-----------------------|---------|---------|----------|------------|----------------|
| Урожайность ячменя, ц с 1 га | 82 | 9,5 | 0,5 | 19,2 | 5,4 | 56,8 |
| Отношение урожайности ячменя к тренду, % | 82 | 100,2 | 10,3 | 300,4 | 54,7 | 54,6 |
| Темп. воздуха 2-й дек. июня, °С | 77 | 19,7 | 13,2 | 26,0 | 2,7 | 13,7 |
| Темп. воздуха 3-й дек. июня, °С | 77 | 20,5 | 14,4 | 25,9 | 2,6 | 12,7 |
| Темп. воздуха сентября, °С | 82 | 12,6 | 7,8 | 16,6 | 1,8 | 14,3 |
| Осадки 3-й дек. января, мм | 75 | 6,2 | 0 | 37,0 | 7,0 | 112,9 |
| Осадки 1-ой дек. февраля, мм | 75 | 6,1 | 0 | 30,9 | 6,6 | 108,2 |
| Осадки 1-ой дек. марта, мм | 75 | 6,7 | 0 | 37,3 | 8,7 | 129,9 |
| Осадки 1-ой дек. мая, мм | 75 | 9,4 | 0 | 37,0 | 10,8 | 114,9 |
| Осадки 2-ой дек. мая, мм | 75 | 12,2 | 0 | 67,0 | 15,8 | 129,5 |
| Осадки июня, мм | 81 | 34,7 | 0 | 117,0 | 23,7 | 68,3 |
| Осадки 1-ой дек. июля, мм | 75 | 12,3 | 0 | 68,0 | 13,7 | 111,4 |
| Осадки 2-ой дек. сентября, мм | 75 | 9,0 | 0 | 45,0 | 10,8 | 120,0 |
| Дефицит вл. воздуха 1-ой дек. июля, мб | 67 | 12,6 | 5,0 | 23,4 | 4,2 | 33,3 |
| Темп. воздуха 1-й дек. ноября пр. г., °С | 77 | -2,3 | -11,8 | 5,0 | 3,8 | 165,2 |
| Темп. воздуха 1-й дек. декабря пр. г., °С | 76 | -9,5 | -22,6 | -1,9 | 4,9 | 51,6 |
| Осадки 1-ой дек. сентября пр.г., мм | 75 | 5,6 | 0 | 49,5 | 9,3 | 166,1 |

За весь период наблюдений (1935-2016 гг.) урожайность ячменя варьировала от 0,5 в 1948 г. до 19,2 ц с 1 га в 1979 г., при среднем значении равным 9,5 ц с 1 га (табл. 2). Уровень вариации признака характеризует коэффициент вариации (K_v), вычисляемый как отношение стандартного отклонения к среднеарифметическому значению по ряду наблюдений. По этому критерию не-

зависимые переменные можно сравнивать между собой по степени вариации фактора.

Значительной вариацией характеризуются осадки 1-ой декады сентября прошлого года – 166,1%, температура воздуха 1-ой декады ноября – 165,2%, осадки 1-ой декады марта, 2-ой декады мая и 2-ой декады сентября – 120-130%.

Наибольшей стабильностью характеризовалась температура воздуха во 2-3-ей декадах июня и в сентябре со значением коэффициента вариации 12,7-14,3%. И в то же время условия июня чаще всего определяли колебания урожайности ячменя.

Для временного ряда урожайности тренд рассматривается как детерминирующая составляющая, в отличие от случайной компоненты этого ряда, изменения которой определяются главным образом агрометеорологическими условиями вегетационного периода конкретных лет. Для построения и анализа взаимосвязи трендов климатических факторов и урожайности ячменя нами использовался метод гармонических весов с фазой скользящего осреднения равной 22-м годам (табл. 3).

Таблица 3. Зависимость тенденции урожайности ячменя от климатических факторов (1940-2016 гг.)

| Предикторы | Доля влияния фактора - Δ - коэффициент, % | Коэффициенты регрессии | Критерий Стьюдента | p-уровень достоверности |
|--|--|------------------------|--------------------|-------------------------|
| Начальная ордината | - | 12,8 | 19,5 | 0,000 |
| Тренд осадков 2-ой декады апреля, мм | 85,7 | 0,611 | 26,5 | 0,000 |
| Тренд температуры воздуха 3 дек. ноября пр. года, °С | 6,2 | 0,478 | 11,7 | 0,000 |
| Тренд осадков апреля, мм | 3,5 | 0,161 | -7,0 | 0,000 |
| Коэффициент детерминации – $R^2=0,96$; Критерий F (3,65) = 472; Станд. ошибка оценки – $\pm 0,56$ ц с 1 га | | | | |

С помощью множественной регрессии установлены основные факторы климата в Адамовском районе, во многом определившие тенденцию урожайности за период (1935-2016 гг.). Значительное влияние (почти 85,7%) на тенденцию урожайности ячменя в указанный период оказал тренд осадков вто-

рой декады апреля (рис.).

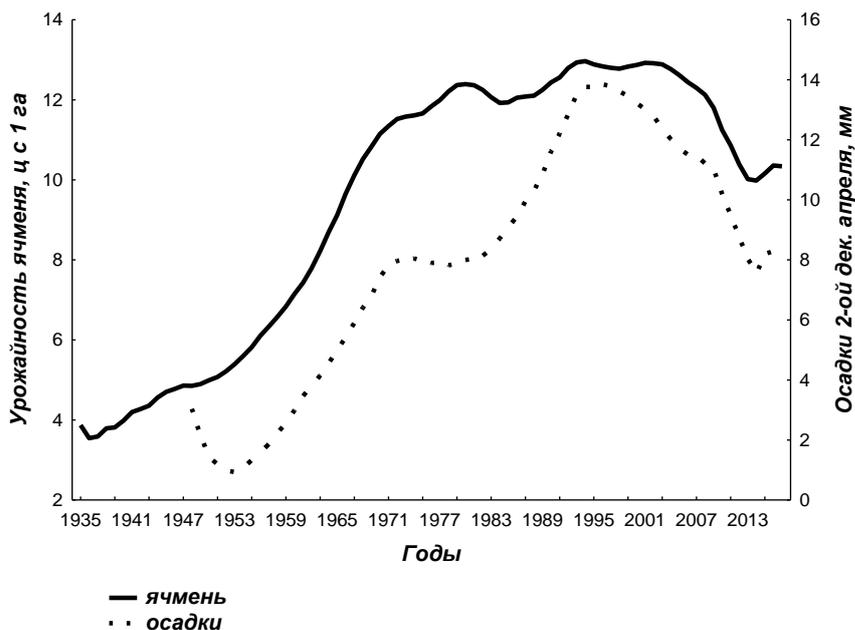


Рис. Влияние осадков 2-ой декады апреля на тенденцию урожайности ячменя (1935-2016 гг.)

Связь между трендами прямая – рост осадков в апреле сопровождался ростом урожайности ячменя, и наоборот.

В совокупности два климатических фактора: осадки апреля и особенно осадки 2-ой декады апреля детерминировали почти 90% изменчивости урожая ячменя за последние 67 лет. Примерно с конца 90-х годов наблюдалась стабилизация урожайности ячменя на уровне 13 ц с 1 га, с последующим его снижением до 10 ц с 1 га в нулевые годы до настоящего времени.

Заключение

Урожайность ячменя в Адамовском районе зависит от большой совокупности погодных факторов, вошедших в уравнение множественной регрессии, которые в 89% случаев оказали существенное влияние на формирование урожайности зерна.

Погодные условия со 2-ой декады июня по 1-ую декаду июля внесли наибольший вклад в дисперсию урожайности ячменя - более 50% изменений результативного признака пришлось на этот период, преобладает негативная тенденция роста среднесуточной температуры воздуха и его сухости.

Значительное влияние на тенденцию урожайности ячменя оказывает тренд осадков второй декады апреля - 85,7% из 100, количество которых в последние годы уменьшается. В результате ухудшения погодно-

климатических условий вегетации посевов ячменя произошло снижение урожайности зерна с 13 до 10 центнеров с 1 га по линии тренда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неверов А.А. Современные тенденции изменения урожайности зернофуражных культур в Оренбургской области. Вестник мясного скотоводства. 2014. №3(86): 125-130.
2. Неверов А.А. Современные тенденции изменения климата в Оренбургской области. Вестник мясного скотоводства. 2015. №1(89): 117-121.
3. Неверов А.А. Влияние погодноклиматических условий на формирование урожая ячменя в центральной зоне Оренбургской области (цикл статей по теме «Исследования методами нейросетевого анализа влияния региональных изменений климата на продуктивность агрофитоценозов»). Вестник мясного скотоводства. 2015. №2(90): 114-118.
4. Неверов А.А. Математическое моделирование связей урожая озимой ржи с погодноклиматическими условиями в центральной зоне Оренбургской области (цикл статей по теме «Исследования методами нейросетевого анализа влияния региональных изменений климата на продуктивность агрофитоценозов»). Вестник мясного скотоводства. 2015. №3(91): 125-131.
5. Тихонов В.Е., Неверов А.А. Прогноз предикторов многомерной модели урожайности яровой пшеницы для оценки неблагоприятных условий вегетации: времени их наступления, интенсивности и продолжительности. Бюллетень Оренбургского научного центра УРО РАН. 2015. 3: 1-13. [Электр. ресурс] (URL: [http:// elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2015-3/Articles/VET-AAN-2015-3.pdf](http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2015-3/Articles/VET-AAN-2015-3.pdf)).
6. Тихонов В.Е., Неверов А.А., Кондрашова О.А. Методология долгосрочного прогнозирования урожайности. Оренбург: ООО «Агентство «Пресса», 2014. 157 с.
7. Тихонов В.Е., Неверов А.А. Прогнозирование предстоящих метеорологических условий вегетации и урожайности зерновых культур в сухостепной зоне Предуралья. Российская сельскохозяйственная наука. 2017. 3: 21-25.
8. Эконометрика: учебник / Под ред. И.И. Елисейевой. М.: Финансы и статистика, 2007. 576 с.
9. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Теория вероятностей и прикладная статистика. В к.: Прикладная статистика. Основы эконометрики: Учебник для вузов. М: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. Т. 1. 656 с.

Поступила 27.08.2017

*(Контактная информация: **Неверов Александр Алексеевич** - кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Оренбургский НИИ сельского хозяйства. Россия, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина 27/1; моб. тел. 8-922-621-72-36; e-mail: nevalex2008@yandex.ru)*

LITERATURA

1. Neverov A.A. Sovremennye tendencii izmenenija urozhajnosti zernofurazhnyh kul'tur v Orenburgskoj oblasti. Vestnik mjasnogo skotovodstva. 2014. №3(86): 125-130.
2. Neverov A.A. Sovremennye tendencii izmenenija klimata v Orenburgskoj oblasti. Vestnik mjasnogo skotovodstva. 2015. №1(89): 117-121.
3. Neverov A.A. Vlijanie pogodnoklimaticeskikh uslovij na formirovanie urozhaja jachmenja v central'noj zone Orenburgskoj oblvasti (cikl statej po teme «Issledovanija metodami nejrosetevogo analiza vlijanija regional'nyh izmenenij klimata na produktivnost' agrofocenov»). Vestnik mjasnogo skotovodstva. 2015. №2(90): 114-118.
4. Neverov A.A. Matematicheskoe modelirovanie svjazej urozhaja ozimoj rzhi s pogodno-

- klimaticeskimi uslovijami v central'noj zone Orenburgskoj oblasti (cikl statej po teme «Issledovanija metodami nejrosetevogo analiza vlijanija regional'nyh izmene-nij klimata na produktivnost' agrofitocenzov»). Vestnik mjasnogo skotovodstva. 2015. №3(91): 125-131.
5. Tihonov V.E., Neverov A.A. Prognoz prediktorov mnogomernoj modeli urozhajnosti jarovoj pshenicy dlja ocenki neblagoprijatnyh uslovij vegetacii: vremeni ih nastuplenija, intensivnosti i prodolzhitel'nosti. Bjulleten' Orenburgskogo nauchnogo centra URO RAN. 2015. 3: 1-13. [Elektr. resurs] (URL: [http:// elmag.uran.ru:9673/magazine/ Numbers/2015-3/Articles/VET-AAN-2015-3.pdf](http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2015-3/Articles/VET-AAN-2015-3.pdf)).
 6. Tihonov V.E., Neverov A.A., Kondrashova O.A. Metodologija dolgosrochnogo prognozirovanija urozhajnosti. Orenburg: ООО «Agentstvo «Pressa», 2014. 157 s.
 7. Tihonov V.E., Neverov A.A. Prognozirovanie predstojashhij meteorologičeskij uslovij vegetacii i urozhajnosti zernovyh kul'tur v suhostepnoj zone Predural'ja. Rossijskaja sel'skohozjajstvennaja nauka. 2017. 3: 21-25.
 8. Jekonometrika: uchebnik / Pod red. I.I. Eliseevoj. M.: Finansy i statistika, 2007. 576 s.
 9. Ajvazjan S.A., Mhitarjan B.C. Teorija verojatnostej i prikladnaja statistika. V k.: Prikladnaja statistika. Osnovy jekonometriki: Uchebnik dlja vuzov. M: JuNITI-DANA, 2001. T. 1. 656 s.

Образец ссылки на статью:

Неверов А.А. Влияние погодных факторов на продуктивность ячменя в восточной зоне Оренбургской области. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2017. 3: 8с. [Электр. ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2017-3/Articles/NAA-2017-3.pdf>).