

БИОПОГИЧЕСКИЕ НАУКИ И ЭКОПОГИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

© И. Д. АХМЕДОВА

Тюменский государственный университет
idakhmedova@mail.ru

УДК 631.559

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ ЮГА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ ОТ ПРИРОДНО-АСТРОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

STATISTICAL ANALYSIS OF THE DEPENDENCE OF GRAIN YIELD FROM THE NATURAL AND ASTRONOMICAL FACTORS IN THE SOUTH OF THE TYUMEN REGION

В статье путем проведения статистического анализа данных осуществлена попытка установить корреляционную зависимость динамики урожайности зерновых культур от природно-астрономических факторов для Тюменского района Тюменской области за период с 1969 по 2012 год. Предполагается, что динамика урожайности зерновых культур находится в корреляционной связи с погодно-климатическими условиями, повторяемость которых в свою очередь, сопряжена с циклическими вариациями солнечной активности. Полученные результаты можно использовать для оптимизации планирования аграрного производства с учетом прогноза погодных условий и циклов солнечной активности и создания алгоритма минимизации экономических потерь и управления рисками в аграрном секторе экономики.

The article considers the dependence of crop yield from the weather and cycles of solar activity in the Tyumen area, the Tyumen Oblast. The article performs a statistical analysis of the dynamics of crop yields from 1956 to 2002 and the peculiarities of weather conditions and the cycles of solar activity. Hypothesis of the research: weather-climatic conditions influence the dynamics of the yields of grain crops. Cyclic variations of solar activity influence on the frequency of occurrence of weather-climatic situations. The practical results can be used for creation the algorithm of the risk management in the agricultural sector.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Солнечные циклы, природно-климатические условия, динамика урожайности, погодные риски, сельскохозяйственное производство.

KEY WORDS. Cycles of the solar activity, dynamics of the grain yield, weather risks, agriculture.

Актуальность исследования. Неустойчивость погоды обуславливает значительную изменчивость урожаев сельскохозяйственных культур. В свою очередь значительные колебания урожайности могут привести к неблагоприятным экономическим последствиям в аграрном секторе экономики. Учет изменчивости погодных условий позволит прогнозировать урожай и строить стратегию земледелия на основе выявленных природно-астрономических циклов.

Изучение и обобщение данных о проявлении солнечных ритмов на Земле проводились в работах А. Л. Чижевского (1976), Ю. И. Витинского (1974, 1976), Шнитникова (1957); Дроздова (1980); Резникова (1982), Е. В. Максимова (1972, 1982), А. А. Максимова., Б. А. Слепцова-Шевлевича (1982), Оля (1984), Ясаманова (1991), Бабкова (2009) и др.

В настоящее время изучение влияния солнечной активности на ритмику земных процессов является предметом интенсивно разрабатываемой научной проблемы «Солнце — Земля». Например, вопрос о влиянии солнечной активности на метеорологические факторы изучается уже более ста лет. Накоплен опыт в изучении взаимодействия в системе «солнечная активность — климат — урожай», а имеющиеся данные прямо указывают на возможную корреляцию гидрометеоявлений и урожайности с солнечной активностью.

Солнечная активность, обладая климатообразующей ролью, является важным естественным фактором, влияющим на повторяемость погодно-климатических условий, которая, в свою очередь, синхронизирована с циклами солнечной активности [3]. Исследователями отмечено, что земные процессы и явления, обусловленные активностью Солнца, подчинены ритмам малой продолжительности, в большей мере 11-летнему режиму. А. Л. Чижевский (1976) приводит перечень явлений органического мира, для которых установлена связь с солнцедельностью, так «величина урожаев кормовых злаков» была им отмечена одной из первых [10].

Среди агроклиматических факторов, оказывающих наибольшее влияние на урожайность зерновых культур, исследователи (В. М. Пасов, 1973; Д. Н. Щенина, 1978; Т. В. Старостина, 1983) отмечают большое значение условий увлажнения. Исследованиями выявлена наибольшая зависимость урожайности зерновых культур от величины гидротермического коэффициента Селянинова (далее ГТК Селянинова) ($r = 0,67-0,88$), запасов влаги в слое почвы 0-40 см ($r = 0,77$). ГТК Селянинова — это показатель увлажненности территории, который определяется отношением суммы осадков в мм за период со среднесуточными температурами воздуха выше 10°C к сумме температур за это же время, уменьшенной в 10 раз. Увлажнение считается оптимальным, если ГТК равен 1-1,5, избыточным — ГТК более 1,6, недостаточным — ГТК менее 1, слабым — ГТК менее 0,5. Данный коэффициент используют при сельскохозяйственной оценке климата для выделения зон различной влагообеспеченности сельскохозяйственных культур.

Согласно исследованиям Д. А. Дымарчук (1983), корреляционные зависимости между урожаем и суммой осадков за период январь-март составляют

$\gamma = 0,57$; суммой осадков за январь-апрель $\gamma = 0,69$; суммой осадков за январь-май $\gamma = 0,53$; суммой осадков за апрель-июнь $\gamma = 0,53$; суммой осадков за апрель-июль $\gamma = 0,86$.

Сумма активных температур является важным показателем теплообеспеченности, которая, в свою очередь, определяет потенциальные природные ресурсы сельского хозяйства, обуславливающие набор сельскохозяйственных культур по их требованию к теплу, а также формирование их продуктивности. Установлено, что отрицательное влияние в период вегетации оказывают температуры выше $+20-24^{\circ}\text{C}$. Так высокие температуры вегетационного периода ведут к снижению урожайности, эта зависимость составляет $-0,82-0,93$ [1].

На основании вышеизложенного, предлагается исследовать динамические ряды урожайности зерновых культур и природно-астрономических условий (агрометеорологических данных и данных о солнечной активности) за период с 1969 по 2012 годы:

- средние температуры июля, $^{\circ}\text{C}$;
- суммы активных температур (выше 10°C);
- суммы осадков за период с температурами выше 10°C , мм;
- ГТК Селянинова;
- показатели чисел Вольфа, характеризующих солнечную активность, W (изучаемый многолетний ряд солнечной активности в соответствии с общепринятой нумерацией включает 8 лет 20-го цикла (21-й цикл начинается в октябре 1976 года), полные 21-й, 22-й и 23-й циклы и 5 лет текущего 24-го цикла (начался в декабре 2008 года)).

Для статистического анализа динамики урожайности зерновых культур и ее зависимости от природно-астрономических факторов предлагается провести сглаживание динамического ряда по 3-5-летним периодам с использованием модифицированного метода «скользящей средней» и корреляционно-регрессионного анализа. Для этого многолетние значения урожайности и метеоданных группируются в различных комбинациях. Цель этих группировок состоит в том, чтобы определить период сравнения, за который, например, метеорологические условия отдельных лет, осредняясь, становятся устойчивыми показателями, характеризующими климат данной местности [2].

Данная закономерность видна при графическом изображении показателей скользящей средней урожайности зерновых за 3-летний период (рис. 1).

Графический анализ в первом приближении позволяет говорить о наличии цикличности урожайности зерновых в Тюменском районе. В целом, при общем увеличении урожайности, колебания ее по годам остаются значительными, со временем не уменьшаются или уменьшаются мало. Это связано с тем, что агрометеорологические условия каждого года резко колеблются, варьируют (рис. 2, 3).

На представленных рисунках средние многолетние значения агрометеорологических показателей приняты за 100%, кривые, построенные за отдельные годы, характеризуют отклонение среднегодовых показателей от средних многолетних и отражают аномальный ход.

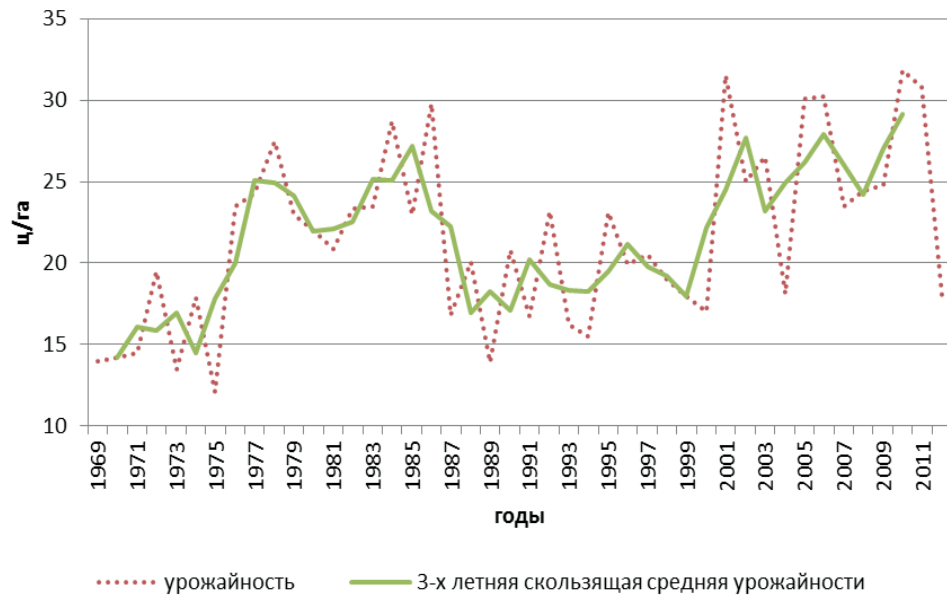


Рис. 1. Динамика урожайности и 3-летней скользящая средняя зерновых [6]

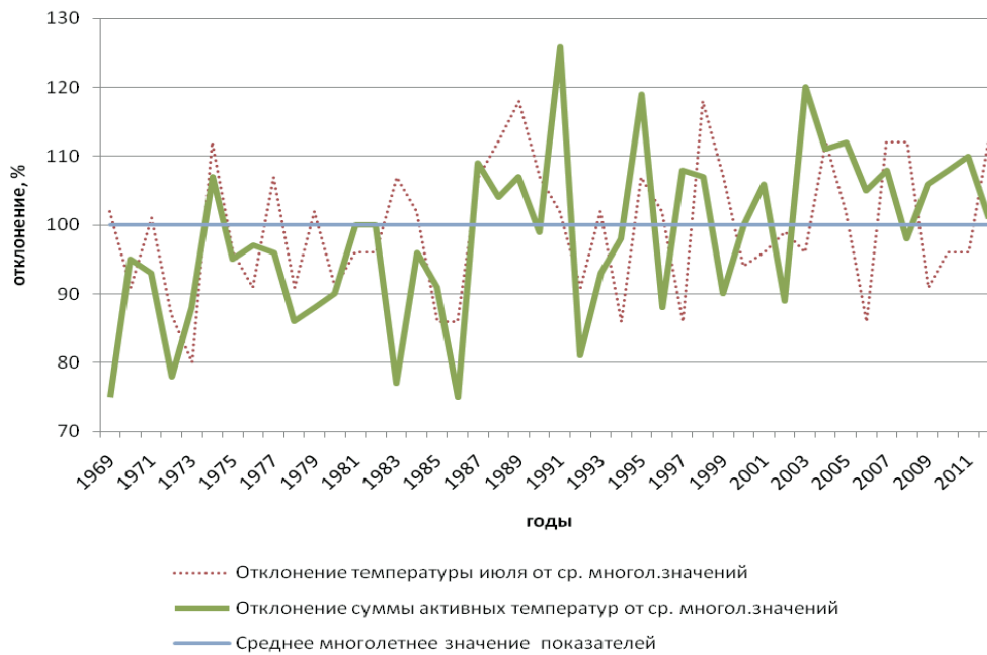


Рис. 2. Аномальные значения сумм активных температур [6, 7, 9]

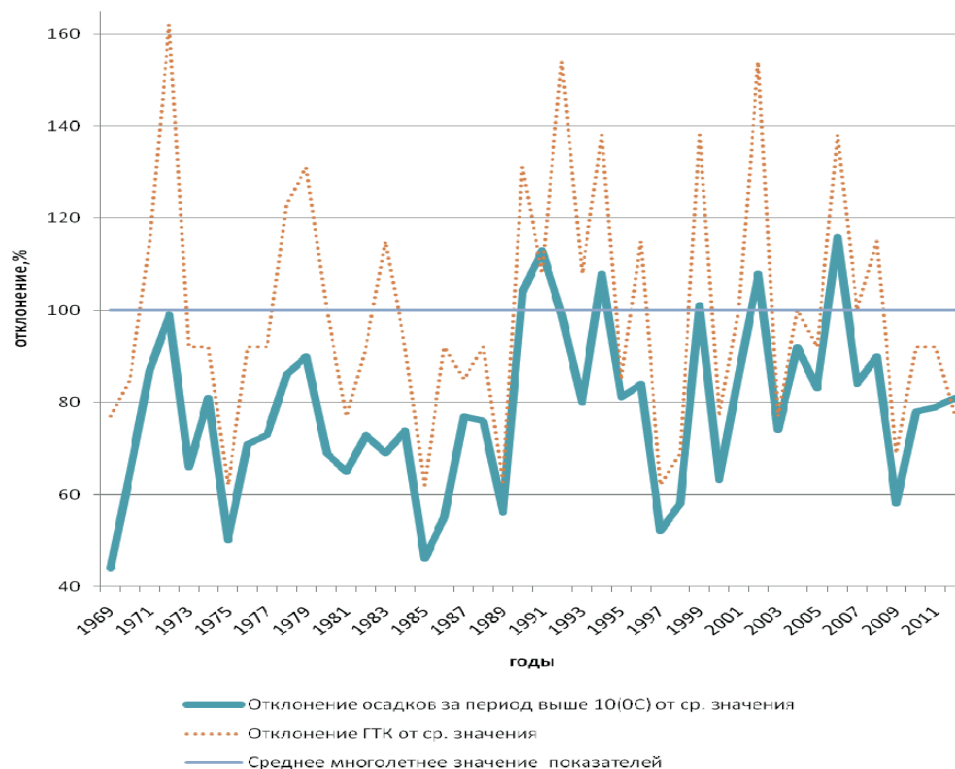


Рис. 3. Аномальные значения показателей осадков и гидротермического коэффициента Селянинова [6, 7, 9]

Для установления цикличности агрометеорологических показателей необходимо также воспользоваться методом укрупнения интервалов динамического ряда (путем вычисления скользящей средней для 3 и 11-летних периодов) (рис. 4-7). Процедура сглаживания динамического ряда необходима для того, чтобы укрупненные интервалы агрометеорологических данных сравнить аналогичными интервалами урожайности зерновых и циклами солнечной активности.

На рис. 4 графики 3-летних скользящих средних урожайности и температуры июля отражают синхронно-асинхронный ход динамических рядов, а сглаженные по 11-летним периодам — практически асинхронный ход. Так графики 3-летних скользящих средних показателей урожайности и средней температуры июля демонстрируют относительно синхронный ход в период с 1972 по 1984 год ($r=0,27$), а в период с 1986 по 1996 год и с 1996 по 2012 год — асинхронный ($r=-0,45$ и $r=-0,6$ соответственно).

На рис. 5 3-летние скользящие средние урожайности и сумм активных температур с 1972 по 1989 год демонстрируют асинхронный ход динамических рядов ($r=-0,5$). С 1989 по 2001 год и с 2006 по 2011 год — отмечен синхронный ход показателей ($r=0,31$ и $r=0,52$ соответственно). 11-летние скользящие синхронизируются с 1997 года ($r=0,33$).

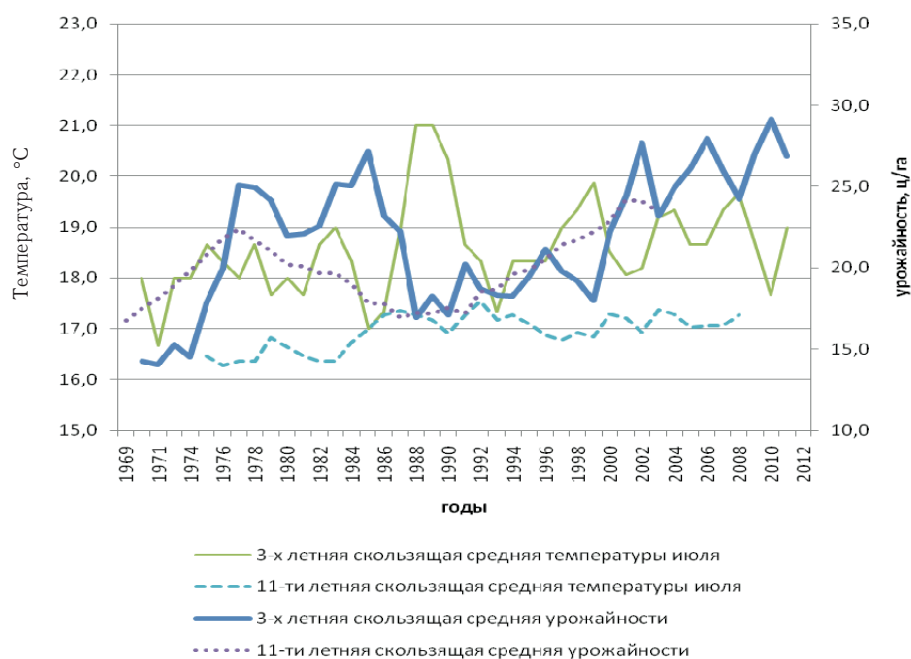


Рис. 4. Динамика 3 и 11-летних скользящих средних урожайности и температур июля [6, 7, 9]

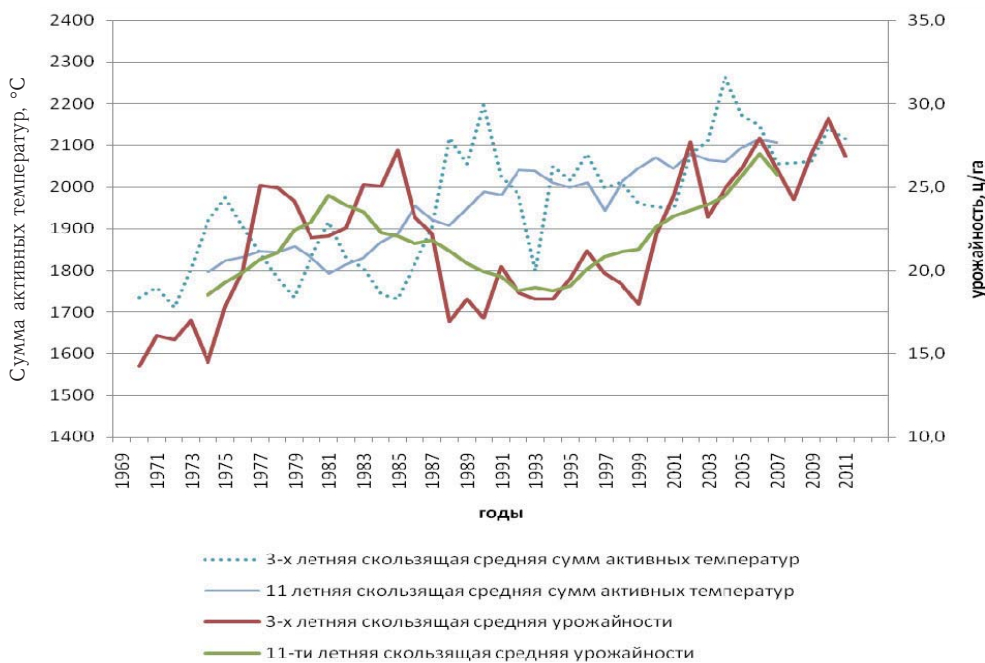


Рис. 5. Динамика 3 и 11-летних скользящих средних урожайности и сумм активных температур ($t > +10^{\circ}\text{C}$) [6, 7, 9]

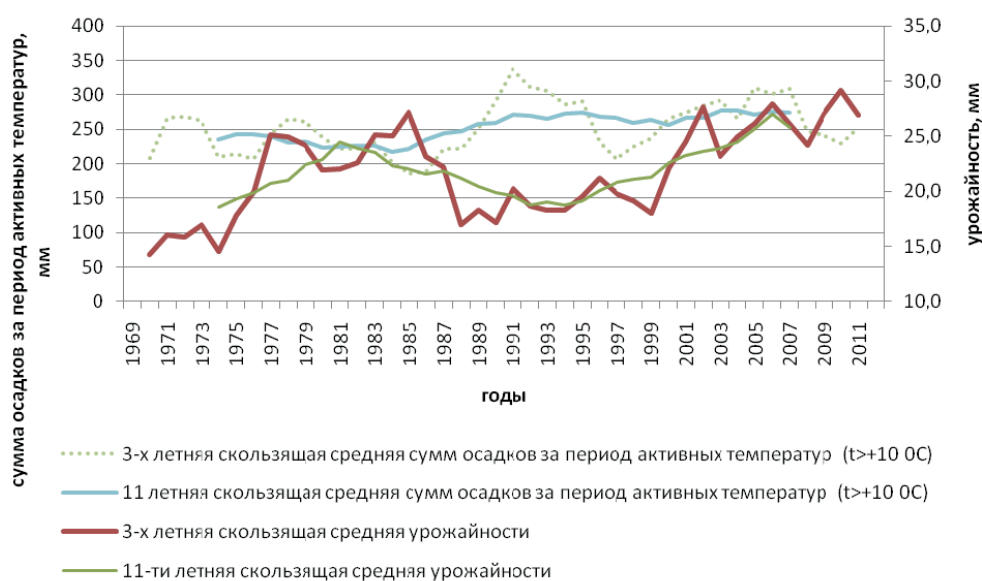


Рис. 6. Динамика 3 и 11-летних скользящих средних урожайности и сумм осадков за период активных температур ($t > +10^{\circ}\text{C}$) [6, 7, 9]

На рис. 6 3-летние скользящие средние урожайности и сумм осадков за период активных температур ($t > +10^{\circ}\text{C}$) в период с 1984 по 1996 год демонстрируют асинхронный ход динамических рядов ($r = -0,5$), а с 1997 по 2009 год — синхронный ход ($r = 0,31$). 11-летние скользящие средние асинхронны.

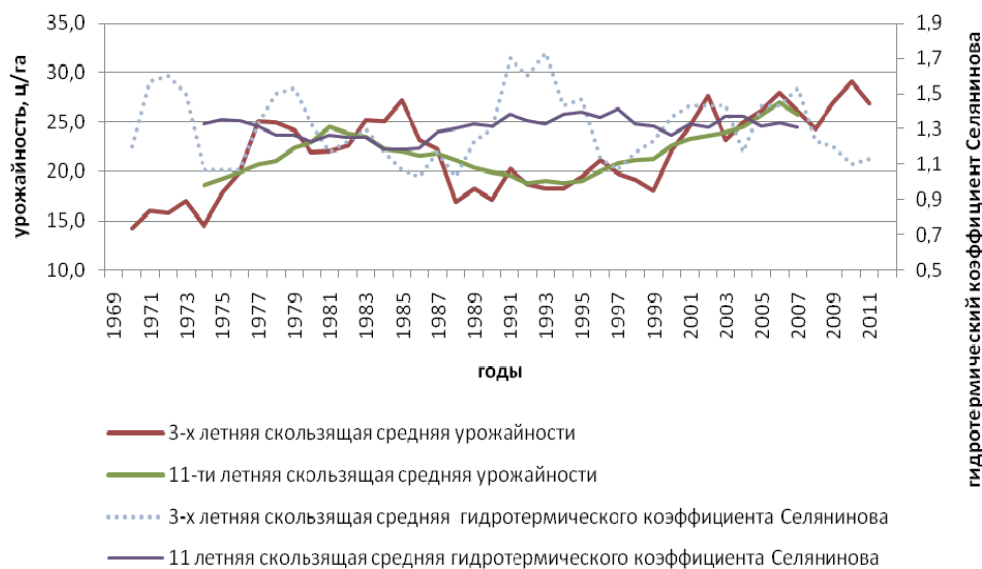


Рис. 7. Динамика 3 и 11-летних скользящих средних урожайности и гидротермического коэффициента Селянинова [6, 7, 9]

На рис. 7 3 и 11-летние скользящие средние урожайности и гидротермического коэффициента Селянинова также иллюстрируют синхронно-асинхронный ход, демонстрируя при этом умеренную корреляционную зависимость.

Выполненный графический и статистический анализ 3 и 11-летних скользящих средних урожайности зерновых и агрометеорологических данных на рис. 4-7 позволяет говорить о наличии умеренной и средней корреляционной зависимости между исследуемыми показателями.

Представляется целесообразным рассмотреть взаимосвязь и закономерность внутривековых колебаний солнечной активности, агрометеорологических показателей и урожайности зерновых методами графического и корреляционно-регрессионного анализа (рис. 8-12).

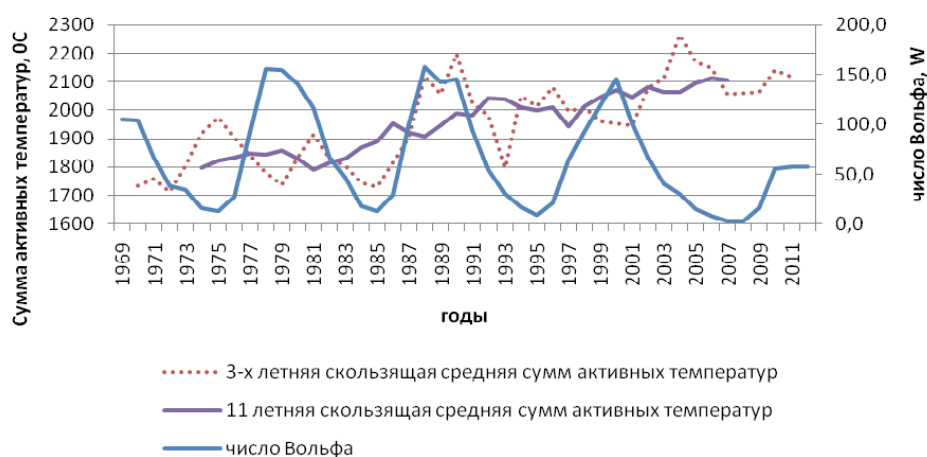


Рис. 8. Сумма активных температур, 3, 11-летние скользящие средние и циклы солнечной активности [6, 7, 9, 11]

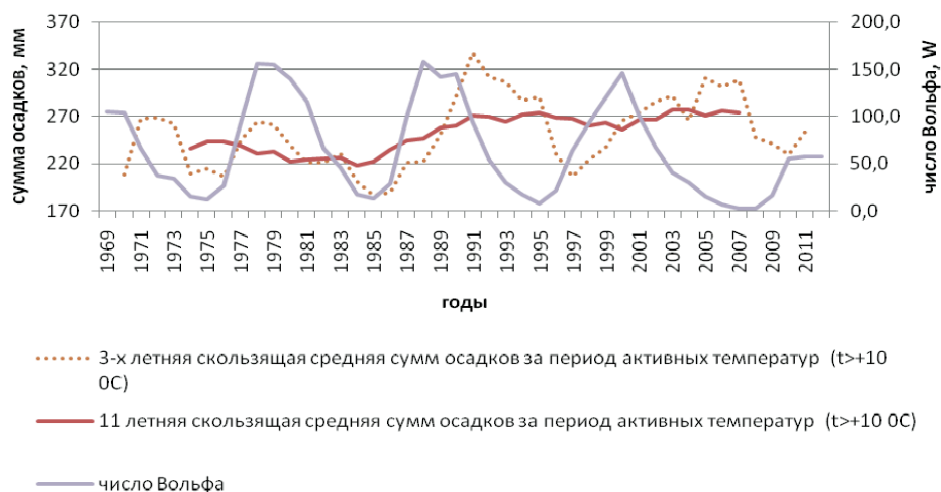


Рис. 9. Сумма осадков за период активных температур ($t > 10^{\circ}\text{C}$), 3 и 11-летние скользящие средние и циклы солнечной активности [6, 7, 9, 11]

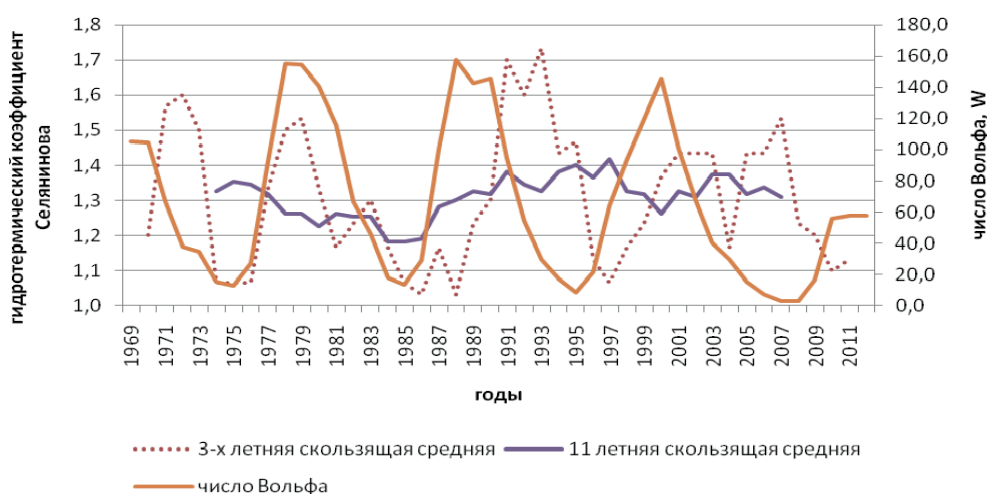


Рис. 10. Гидротермический коэффициент Селянинова, 3 и 11-летние скользящие средние и циклы солнечной активности [6, 7, 9, 11]

Так на рис. 8 синхронными являются колебания сумм активных температур и показателей чисел Вольфа в период с 1981 по 1992 год, асинхронными — в период с 1971 по 1980 год. Такой ход показателей подтверждается коэффициентом корреляции $r_{1981-1992}=0,54$, $r_{1971-1980}=-0,48$.

На рис. 9 синхронность показателей сумм осадков за период активных температур отмечается в годы с 1972 по 1990, далее до 2000 года синхронность сохраняется, но с запаздыванием пиков тах и min показателей в среднем на 2,66 года, с 2000-2001 год зафиксирован асинхронный ход показателей. При этом значения коэффициентов корреляции следующие: $r_{1972-1990}=0,35$, $r_{1991-2000}=0,32$.

На рис. 10 синхронность хода показателей отмечена за период с 1972 по 1981 гг. ($r=0,32$). С 1983 по 2004 гг. слабая синхронность сохраняется ($r=0,18$), но тах и min показателей гидротермического коэффициента Селянинова относительно хода солнечной активности в среднем отстает на 2,83 года. С 2004 года отмечается асинхронный ход показателей ($r=-0,28$).

Сравнительный анализ графиков динамического ряда средней урожайности и циклов солнечной активности на рис. 11 показывает наличие определенной зависимости между показателями (табл. 1).

В ранее выполненных исследованиях так же отмечается, что увеличение урожайности было характерно для всех областей Западной Сибири в периоды 1972/73, 1978/79, 1984/85, 1990/91, 1991/92, 1995/96, 2000/01 гг. [4].

Анализ графиков и таблицы позволяет прийти к следующим выводам:

Величина урожая является результатом комплекса метеорологических факторов. Графики 3 и 11-летних скользящих средних агрометеорологических показателей и урожайности зерновых культур иллюстрируют наличие цикличности;

3-летние скользящие агрометеорологических показателей на графиках 8-11 синхронизируются с циклами солнечной активности;

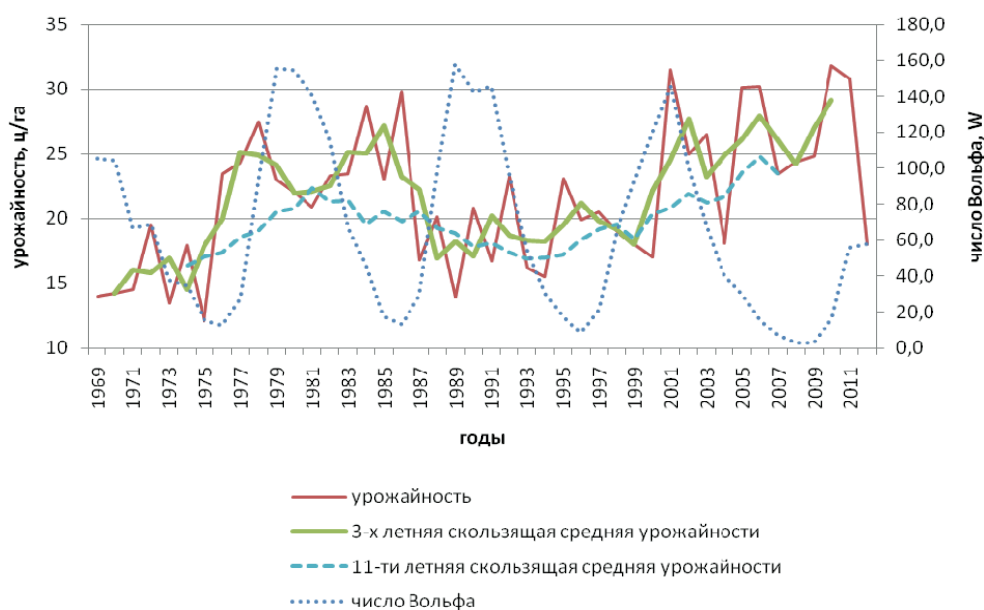


Рис. 11. Урожайность зерновых, 3, 11-летняя скользящая средняя и циклы солнечной активности [6, 7, 9, 11]

Таблица 1

Сопоставление динамики урожайности зерновых Тюменского района и циклов солнечной активности

	Мах и min урожайности		Мах и min солнечной активности
	Года натурального ряда	Года 3-х летней скользящей	года
Максимумы	1972, 1978, 1984, 1986, 1988, 1990, 1992, 1995, 2001, 2003, 2006, 2010	1969, 1973, 1977, 1985, 1991, 1996, 2002, 2006, 2010	1979, 1989, 2001
Количество максимальных значений	12	9	3
Минимумы	1969, 1973, 1975, 1985, 1987, 1989, 1991, 1994, 1996, 2000, 2004, 2007, 2012	1970, 1974, 1980, 1988, 1990, 1994, 1999, 2003, 2008	1976, 1986, 1996, 2008
Количество минимальных значений	13	9	4

Источник: [6, 11]

В многолетней изменчивости количества урожая выделяются определенные циклы. Синхронность урожайности зерновых культур наблюдается в отдельные годы по абсолютным максимумам и минимумам. За 44-летний период на рис. 11 выделено 12 пиков максимальных и 13 минимальных значений урожайности, между вспяшками продолжительность составляет 3,77 лет, а между спадами — 3 года. В графике 3-летней скользящей средней урожайности проявляется ритм периодичностью от 2 до 6 лет;

Неурожайные годы группируются около минимумов солнечной активности (или опережают их или же запаздывают относительно них, но ненамного: в 1976, 1986, 1996, 2008 гг. отмечены минимумы солнечной активности, а неурожайные годы — 1973, 1975, 1985, 1987, 1994, 1996, 2007 гг.). Но и перед максимумами солнечной активности возможны неурожай (годы максимальной солнечной активности — 1989 и 2001, неурожайные годы — 1987, 2000). Таким образом, принципиальная согласованность существует, но в одних случаях вспяшки (или спад) солнечной активности предшествуют урожайным (неурожайным) годам, а в других, наоборот, урожайные (неурожайные) годы — вспяшкам (спадам) на Солнце.

Прикладное значение данного исследования состоит в возможности разработки алгоритма минимизации и управления погодными рисками в аграрном секторе экономики.

Традиционные методы принятия решений, основанные на практическом опыте и несложных расчетах, в современных условиях становятся мало приемлемыми, как правило, они ориентированы только на средние арифметические значения агрометеорологических параметров (климатическую норму). В этом отношении значительно выигрышнее выглядит метод моделирования, в частности статистического. Модели позволяют учитывать изменчивость погодных условий, прогнозировать урожай и строить стратегию земледелия на основе выявленных климатических циклов, трендов и прогнозных моделей «погода — урожай» [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абалова И. М. Агроклиматический потенциал урожайности зерновых культур Западной Сибири: автореф. ... дис. канд. биол. наук / И. М. Абалова. Омск, 2005. 186 с. URL: <http://earthpapers.net/agroklimaticheskij-potentsial-urozhaynosti-zernovyh-kultur-zapadnoy-sibiri#ixzz3Aovj8dY2>
2. Бабков Г. А., Баков Н. Х., Хоружий В. И. Анализ и обоснование урожайности культур в предпринимательских структурах аграрного сектора региона (Ч. 1) / Г. А. Бабков, Н. Х. Баков, В. И. Хоружий // Электронный научный журнал «Управление экономическими системами». 2009. № 4. URL: <http://uecs.ru/ru/uecs-20-202009>
3. Берри Б. Л. Синхронные процессы в оболочках Земли и их космические причины / Б. Л. Берри // Вестник МГУ. Сер. 5. География. № 1. 1991. С. 20-27.
4. Витинский Ю. И. Цикличность и прогнозы солнечной активности / Ю. И. Витинский. Л.: Наука, 1973. 257 с.
5. Максимов Е. В. Ритмы на Земле и в Космосе / сост. Ларин С.И. Тюмень: Мандр и Ка, 2005. 312 с.

6. Массив данных месячных сумм осадков на станциях России. URL: meteo.ru/data/158-total-precipitation#доступ-к-данным
7. Сельское хозяйство в Тюменской области (1954-2012 гг.): стат. сборник // Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области.
8. Смирнова И. И. Влияние природных факторов на продуктивность агросистем в условиях криоаридного климата (на примере Западного Забайкалья): автореф... дис. канд. геогр. Наук / И. И. Смирнова. Улан-Удэ, 2011. 24 с. URL: www.bai-kalfund.ru/mediacache/225ef69e-4a79-468d-8bc7-d707bad16259.pdf.
9. Среднемесячная температура воздуха за период 1934-2012 гг. URL: http://www.atlas-yakutia.ru/weather/climate_gussia-III.html
10. Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь / А. Л. Чижевский. М., 1976. 368 с.
11. Числа Вольфа, значение с 1800 по 2012 года. URL: <http://biofile.ru/kosmos/4365.html>

REFERENCES

1. Abilova I. M. Agroklimaticheskiy potentsial urozhaynosti zernovyih kultur Zapadnoy Sibiri: Avtoref...dis. Kand. Biol. Nauk [Agro-Climatic Potential Yield of Grain Crops in Western Siberia: Autoabstract Dis. Cand. Sci. (Biol.)]. Omsk, 2005. 186 p. <http://earthpapers.net/agroklimaticheskiy-potentsial-urozhaynosti-zernovyih-kultur-zapadnoy-sibiri#ixzz3Aovj8dY2> (In Russian)
2. Babkov G. A., Bakov N. H., Khoruzhi V. I. Analiz i obosnovanie urozhaynosti kultur v predprinimatelskih strukturah agrarnogo sektora regiona (Ch. 1) [Analysis and Justification of Crop Yield in Entrepreneurial Structures of Agricultural Sector (Part 1)] // Elektronnyy nauchnyy zhurnal "Upravlenie ekonomicheskimi sistemami" [Electronic scientific journal "Management of economic systems"]. 2009. No 4. <http://uecs.ru/ru/uecs-20-202009> (In Russian)
3. Berry B. L. Sinhronnyie protsessyi v obolochkah Zemli i ih kosmicheskie prichiny [Synchronous Processes in the Spheres of the Earth and their Space Reasons] // Vestnik MGU. Ser. 5. Geografiya [MSU Herald. Series 5. Geography]. 1991. No 1. Pp. 20-27. (In Russian)
4. Vitinsky J. I. Tsiklichnost i prognozyi solnechnoy aktivnosti [Cyclicity and Forecast of Solar Activity]. Leningrad: Nauka [Science], 1973. 258 p. (In Russian)
5. Maximov E. V. Ritmy na Zemle i v Kosmose [Rhythms on the Earth and in Space]. Tyumen: Mandr&Ka, 2005. 312 p. (In Russian)
6. Массив данных месячных сумм осадков на станциях России [An array of monthly precipitation data at the stations Russia]. meteo.ru/data/158-total-precipitation#доступ-к-данным (In Russian)
7. Сельское хозяйство в Тюменской области (1954-2012 гг.): статистический сборник. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области [Agriculture in the Tyumen region (1954-2012): Stat. collec.] // Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области [The territorial department of Federal agency of statistics in Tyumen region]. (In Russian)
8. Смирнова И. И. Влияние природных факторов на продуктивность агросистем в условиях криоаридного климата (на примере Западного Забайкалья): Автореф... дис. Канд. Геогр. Наук [Influence of Natural Factors on the Productivity of Agricultural Systems in Terms of Cryoaridical Climate (as exemplified by Western Transbaikalia): Autoabstract

- Dis. Cand. Sci. (Geogr.)]. Ulan-Ude, 2011. 24 p. www.baikalfund.ru/mediacache/225ef69e-4a79-468d-8bc7-d707bad16259.pdf (In Russian)
9. Srednemesyachnaya temperatura vozduha za period 1934-2012 gg. [Average Monthly Temperature for the Period 1934-2012]. http://www.atlas-yakutia.ru/weather/climate__russia-III.html (In Russian)
 10. Chizhevsky A. L. Zemnoe eho solnechnyih bur [The Earth Echo of Solar Storms]. Moscow, 1976. 366 p. (In Russian)
 11. Chisla Volfa, znachenie s 1800 po 2012 goda [Wolf numbers, the value from 1800 to 2012]. <http://biofile.ru/kosmos/4365.html> (In Russian)

Автор публикации

Ахмедова Ирина Дмитриевна — кандидат географических наук, доцент кафедры социально-экономической географии и природопользования Тюменского государственного университета

Author of the publication

Irina D. Akhmedova — Cand. Sci. (Geog.), Assistant Professor of the Department of Socioeconomic Geography and Environmental Management, Tyumen State University