

*Н.Ф. Харламова, М.М. Силантьева*

### **Зависимость урожайности зерновых культур в районах Кулунды от климатических факторов\***

*N.F. Kharlamova, M.M. Silantyeva*

### **Dependence of the Cereal Cultures Productivity in the Kulunda Areas on Climatic Factors**

На основе регрессионной зависимости урожайности зерновых в районах Кулунды (Алтайский край) определена совокупность климатических (метеорологических) факторов, вызывающих наибольшую межгодовую изменчивость, за 1954–2005 гг. Получена ретроспективная оценка урожайности начиная с 1838 г., сопоставленная с температурой лета. Показано влияние климатических факторов на состояние сельского хозяйства.

**Ключевые слова:** изменение климата, Кулунда, урожайность зерновых, климатические (метеорологические) факторы сельского хозяйства.

В соответствии с установленными климатологами тенденциями [1–3] наиболее важным событием, связанным с климатом, в XX в. является так называемое глобальное потепление, особенно ярко проявившееся с конца 80-х гг. Это событие выдвинуло в число фундаментальных проблем экологии и географии проблему глобальных изменений природной среды под воздействием изменений климата.

Адаптационные способности природы очень велики, подавляющее большинство видов смогли бы без проблем жить при типичной для прогнозов «удвоенной» концентрации CO<sub>2</sub> и средней температуре, ожидаемой к 2050 гг., однако главная проблема заключается в *скорости* изменений, поскольку именно скорость адаптации весьма ограничена [4]. Эта особенность функционирования природных и искусственных экосистем (агроценозов) ставит следующие задачи: во-первых, определение наиболее уязвимых территорий, где антропогенный «стресс» накладывается на заметное воздействие климатических изменений, во-вторых, разработка адаптационных мер, направленных на сохранение биоразнообразия и поддержание продукционных процессов в агроценозах с целью содействия сохранению устойчивого сельскохозяйственного производства. Последняя

Basing on regression dependence of cereal cultures in the Kulunda areas (Altai Territory) the work defines set of climatic (meteorological) factors affecting the highest proportion of its variability during 1954–2005. Retrospective evaluation of grain yields, since 1838, was compared with the summer temperature. It is shown how climatic factors effects on agriculture.

**Key words:** climate change, Kulunda, grain yields, climatic (meteorological) factors of agriculture.

задача представляется особенно актуальной в связи с выводами о том, что существующие представления об улучшении агроклиматических условий в основных сельскохозяйственных районах России не следует воспринимать слишком однозначно, выделяются территории, где возможно значительное снижение урожайности возделываемых культур [5]. К таким «горячим точкам» можно отнести и территорию Алтайского края, который обладает наибольшей площадью сельскохозяйственных угодий в Западно-Сибирском сельскохозяйственном районе России (10351 тыс. га). Особое внимание следует уделить степным и лесостепным районам Кулундинской равнины и Приобского плато, издавна применяемым для возделывания многих культур, а также в животноводстве. В настоящее время интенсивное использование земель Кулунды привело к широкомасштабной деградации и разрушению степных экосистем.

Для изучения антропогенной трансформации растительного покрова степных экосистем Кулунды в условиях изменений климата и систем землепользования необходимо провести исследование климатических показателей и установить корреляционные связи в системе «климат – растительный покров – системы землепользования», что позволит прогнозировать

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РГНФ «Сохранение экосистемы степи Кулунды при непрерывном сельскохозяйственном использовании как необходимый элемент адаптации к климатическим и почвенным изменениям» №11-01-00001а.

изменения устойчивости экосистем и разрабатывать стратегию перехода к адаптивно-ландшафтному принципу землепользования и восстановления биологического разнообразия.

История земледелия всецело связана с адаптацией его к различным природным условиям и прежде всего климатическим [5]. При этом потенциальное плодородие почв часто не совпадает с влагообеспеченностью и теплообеспеченностью агроценозов. Решение множества задач по агроклиматической адаптации современных агротехнологий должно осуществляться в соответствии с новейшими представлениями о глобальных изменениях климата.

В современной исторической и географической науке накоплен большой объем фактического материала, разработаны концептуальные подходы к проблеме влияния климата и окружающей среды на человеческое общество. Тем не менее, несмотря на огромный вклад предшествующих поколений ученых, достаточно остро стоит вопрос о проведении подобных исследований на территории Сибири, поскольку в настоящее время почти нет работ, в которых на основе привлечения существующего фактического материала было бы проанализировано воздействие климатических изменений на социум и природные сообщества [6].

Нами предлагаются результаты начального этапа исследования по выявлению и оценке эффективности землепользования на территории Кулунды в условиях климатических изменений. С этой целью использованы метеорологические данные метеостанций, расположенных с севера на юг территории исследования, за период 1954–2009 гг. (по 2005 г. для урожайности) в сравнении с наиболее длиннорядной метеостанцией Барнаул (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика метеостанций территории исследования

Метеостанция	Широта	Долгота	Высота над ур. моря, м
Камень-на-Оби	53°49'	81°16'	127
Ребриха	53°05'	82°20'	218
Славгород	52°58'	78°39'	125
Рубцовск	51°35'	81°12'	216
Змеиногорск	51°09'	82°10'	354
Барнаул	53°26'	83°31'	183

Алтайский край, обладая наибольшей в Западной Сибири площадью сельскохозяйственных земель, отличается невысокой продуктивностью сельскохозяйственного производства (рис. 1) [5].

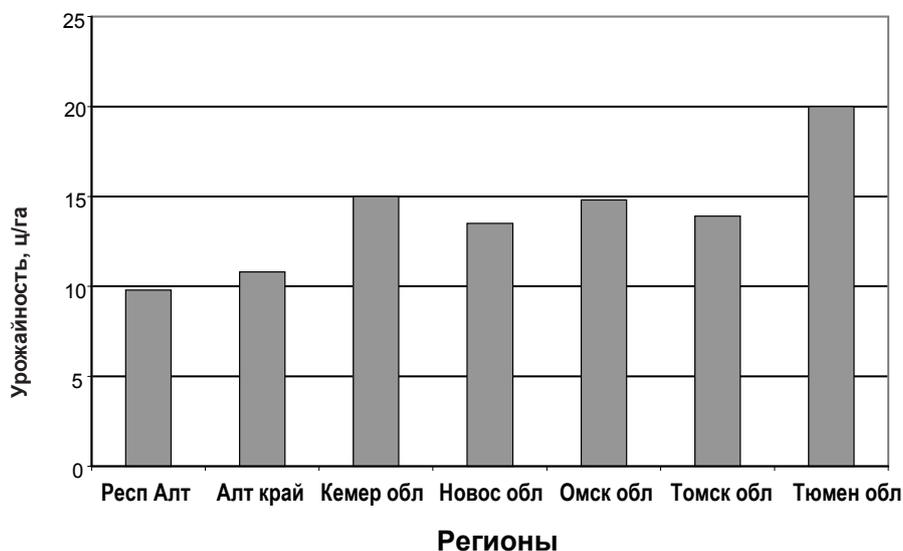


Рис. 1. Урожайность зерновых в среднем за 2001–2005 гг. в Западно-Сибирском районе Сибирского федерального округа, ц/га

Интенсивно используются преимущественно сухостепные, степные и лесостепные районы, характеризующиеся небольшим плодородием легко ранимых, преимущественно малогумусных и маломощных черноземов и каштановых почв [5], недостаточностью атмосферных осадков, суровой зимой, жарким летом, сильными ветрами в зимне-ве-

сенний период, способствующими развитию дефляции почв, значительной межгодовой изменчивостью температуры и осадков. Очень часто в весенне-летний период наблюдается суховейно-засушливая погода, пыльные бури и поземки, количество которых особенно велико на крайнем юго-западе Алтайского края (рис. 2).

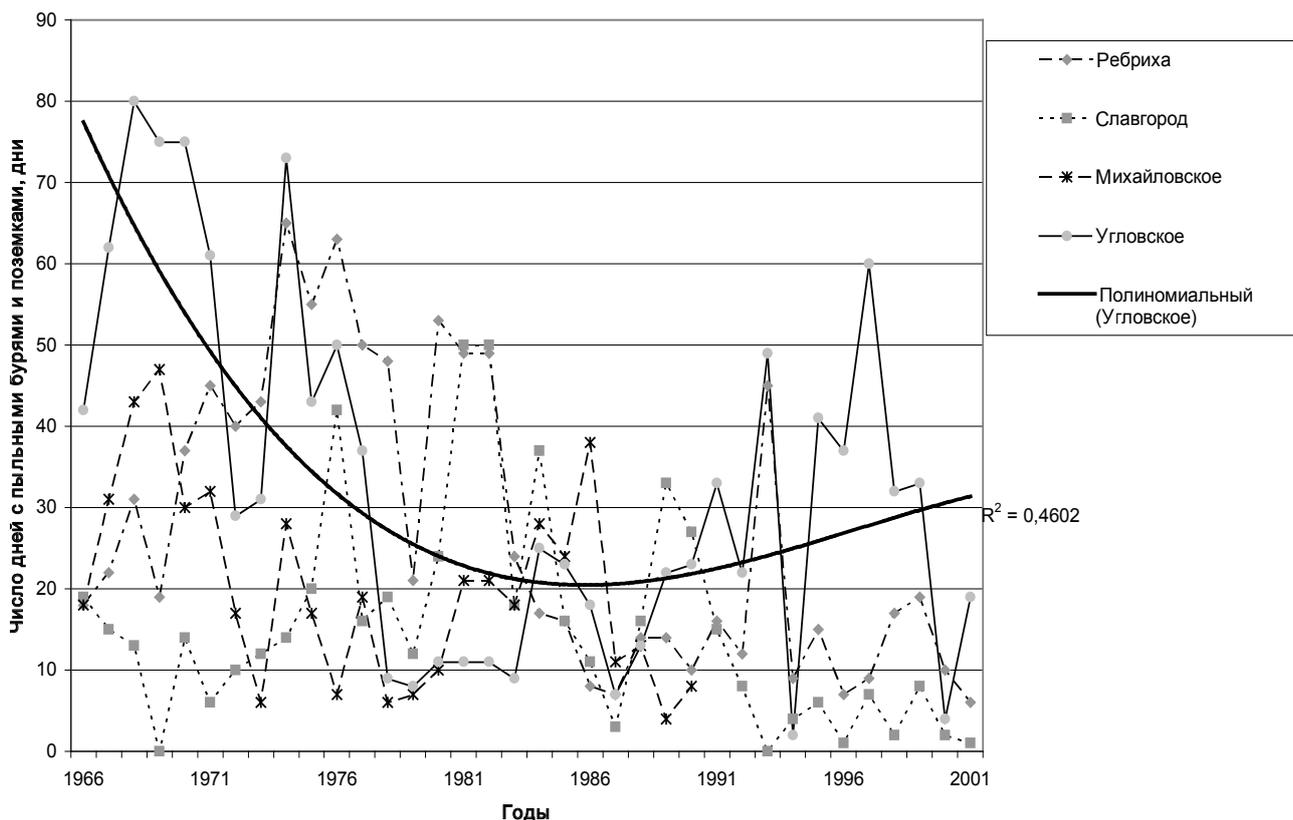


Рис. 2. Число дней с пыльными бурями и поземками в районе метеостанций Ребриха, Славгород, Михайловское, Угловское в течение 1966–2001 гг., ежегодные значения и полиномиальный тренд (Угловское)

Указанные особенности умеренно-континентального (иногда с чертами резко-континентального) климата Кулунды определяют невысокую урожайность возделываемых культур, например зерновых, в особенности в центральных областях Кулундинской равнины (7,96 ц/га – Славгородский район) и наиболее южных районах на границе с Казахстаном (Угловский район – 5,66 ц/га; табл. 2).

Межгодовая динамика урожайности в районах Кулунды и Приобского плато в целом достаточно синхронна, что позволяет использовать зависимости, полученные на основе данных метеостанции Барнаул, имеющих наиболее достоверные оценки регрессионных уравнений (моделей) с урожайностью в Павловском районе (рис. 3, табл. 3).

Таблица 2  
Среднегодовая урожайность по районам Кулунды и Приобского плато в сравнении с максимальной и минимальной в Алтайском крае, 1954–2005 гг., ц/га

Районы	Урожайность
Каменский	10,78
Ребрихинский	11,65
Славгородский	7,96
Рубцовский	9,88
Змеиногорский	14,59
Павловский	12,67
Смоленский	15,76
Угловский	5,66
Средняя по краю (55 районов)	11,08

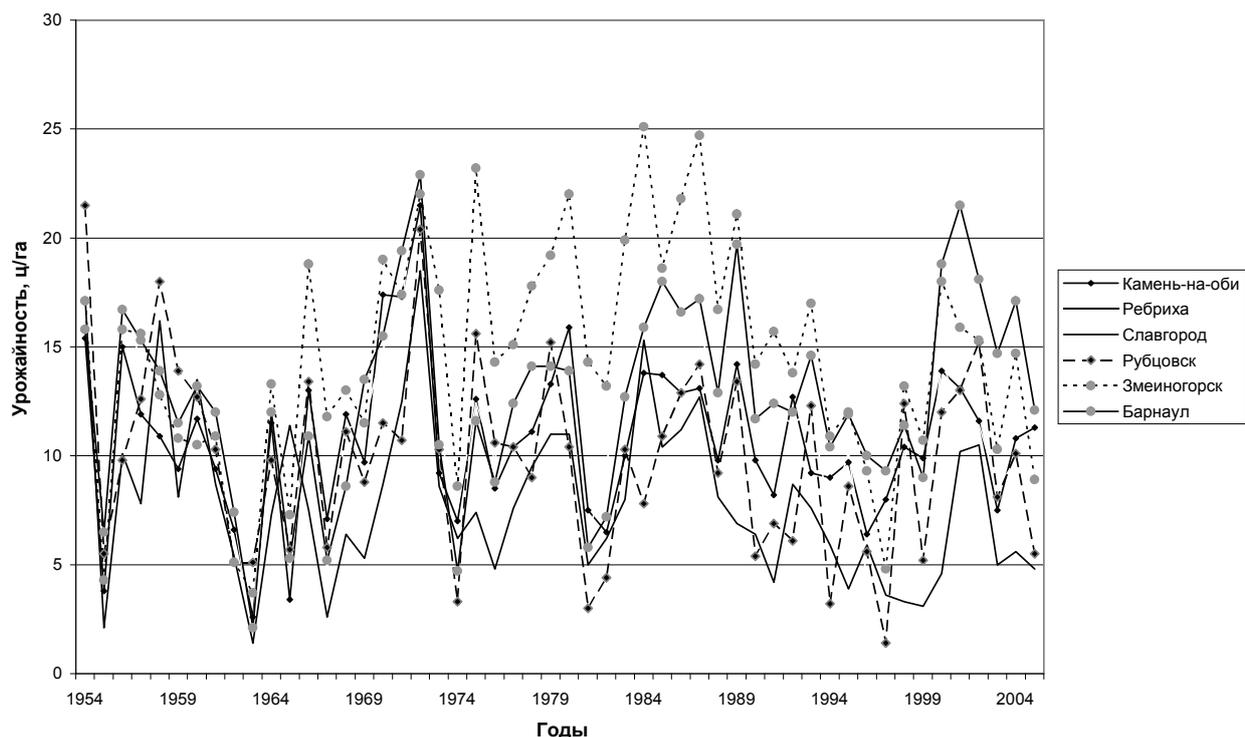


Рис. 3. Урожайность зерновых в 1954–2005 гг. в районах Кулунды и Приобского плато, ц/га

Таблица 3

Корреляционная матрица урожайности по районам, 1954–2005 гг.

Районы (метеостанция)	Каменский	Ребрихинский	Славгородский	Рубцовский	Змеиногорский	Павловский
Каменский (Камень-на-Оби)	1					
Ребрихинский (Ребриха)	0,867	1				
Славгородский (Славгород)	0,631	0,698	1			
Рубцовский (Рубцовск)	0,655	0,717	0,621	1		
Змеиногорский (Змеиногорск)	0,744	0,774	0,565	0,614	1	
Павловский (Барнаул)	0,814	0,829	0,590	0,676	0,664	1

На основе сформированной базы данных по урожайности зерновых в районах Кулунды с прилегающими территориями и климатическим показателям рассчитаны регрессионные уравнения, отображающие

воздействие на урожайность наиболее значимых факторов – температуры весенних месяцев (апреля и мая), лета, количества осадков апреля, мая и летнего сезона (табл. 4).

Таблица 4

Параметры регрессионной оценки урожайности в зависимости от климатических факторов

Метеостанция	R	R <sub>2</sub>	Уравнение
Камень-на-Оби	0,71	0,51	$Y=44,87-0,17T_4+0,06T_5-2,03T_{лет}+0,06O_4+0,02O_5+0,01O_{лет}$
Ребриха	0,72	0,52	$Y=63,16-0,18T_4-0,43T_5-2,62T_{лет}+0,02O_4+0,03O_5-0,002O_{лет}$
Славгород	0,84	0,70	$Y=36,82-0,14T_4-0,31T_5-1,51T_{лет}+0,07O_4-0,005O_5+0,03O_{лет}$
Рубцовск	0,82	0,67	$Y=44,99-0,48T_4-0,10T_5-2,02T_{лет}+0,09O_4+0,05O_5+0,02O_{лет}$
Змеиногорск	0,76	0,58	$Y=85,47-0,65T_4+0,003T_5-3,82T_{лет}+0,03O_4+0,03O_5-0,01O_{лет}$
Барнаул	0,72	0,51	$Y=32,11-0,19T_4+0,41T_5-1,75T_{лет}+0,08O_4+0,08O_5+0,02O_{лет}$

Примечание: R – коэффициент множественной корреляции; R<sub>2</sub> – коэффициент детерминации; T<sub>4</sub> – среднемесячная температура воздуха апреля; T<sub>5</sub> – среднемесячная температура воздуха мая; T<sub>лет</sub> – среднемесячная температура воздуха лета (VI–VIII); O<sub>4</sub> – среднемесячное количество осадков в апреле; O<sub>5</sub> – среднемесячное количество осадков в мае; O<sub>лет</sub> – среднемесячное количество осадков лета (VI–VIII).

Теснота совместного влияния метеорологических факторов на урожайность (коэффициент множественной корреляции R) наибольшая в центральных степных районах Кулунды (Славгород) и прилегающих территориях Приобья (Рубцовск), уменьшаются к северу и югу. Полученные зависимости позволяют объяснить от 51 до 70% дисперсии (изменчивости) урожайности под воздействием рассматриваемых показателей (см. табл. 4). Включение в модели других метеороло-

гических параметров по снежному покрову и запасам почвенной влаги позволит улучшить результаты.

На основе регрессионных уравнений зависимости урожайности зерновых в Павловском районе от метеорологических факторов (ГМС Барнаул) получены ретроспективные оценки начиная с 1838 г. (рис. 4), коэффициент корреляции восстановленных и истинных значений урожайности за 1954–2005 гг. – 0,72 – является значимым и достоверным.

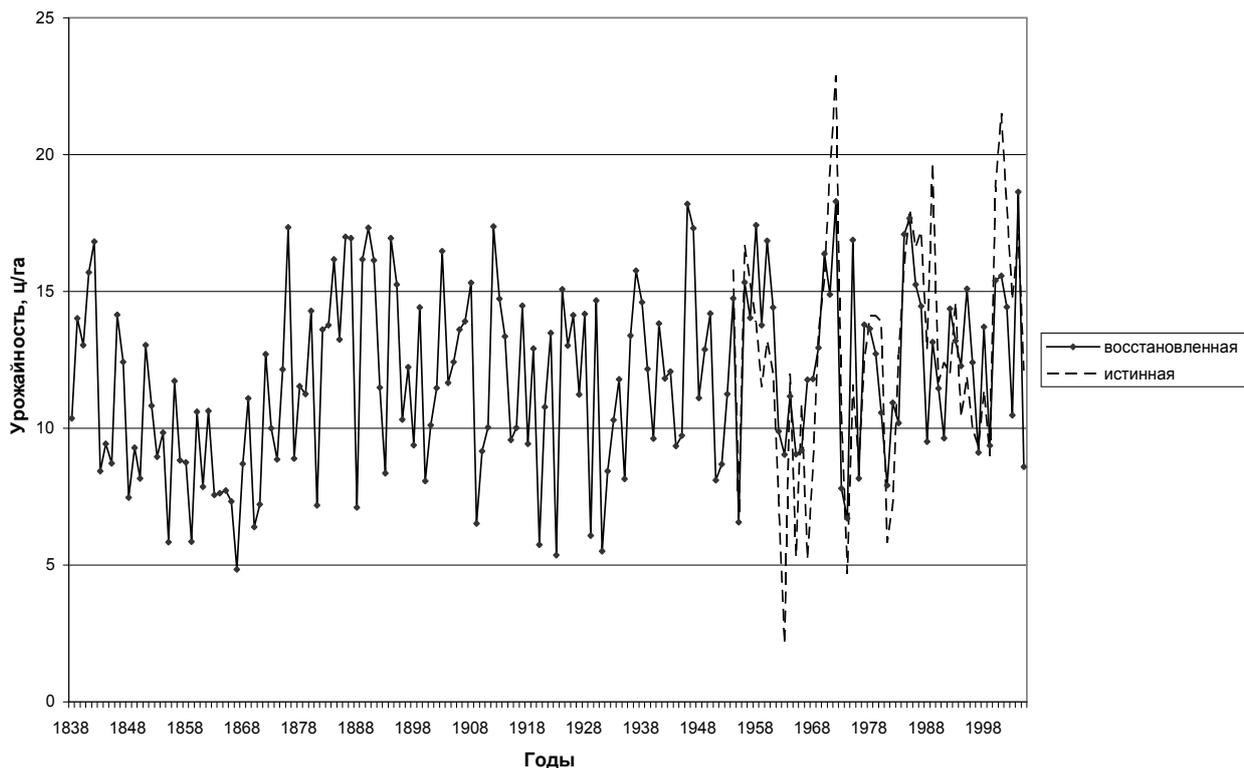


Рис. 4. Урожайность зерновых культур для Павловского района (ГМС Барнаул), восстановленная на основе регрессионного уравнения 1838–2005 гг. в сопоставлении с истинной (1954–2005 гг.)

Несмотря на высокий коэффициент корреляции рядов урожайности за период 1954–2005 гг., визуальный анализ показывает занижение рассчитанных значений, в некоторых случаях до 50%, что, во-первых, является общим недостатком всех моделей, во-вторых, объясняется неоднородностью рядов наблюдений по метеостанции Барнаул, которая свойственна всем метеорологическим данным. Изменялось местоположение практически всех метеостанций, происходила замена дождемера Нифера осадкомером Третьякова, менялось количество сроков наблюдений, вводились поправки на смачивание осадков и т.д. Соответственно, ошибки расчетных моделей, вызванные неоднородностью рядов метеорологических (климатических) наблюдений, будут присутствовать

всегда, определяя инструментальную ошибку в пределах 10–20%.

Изменения климата в большинстве публикаций рассматриваются на основе анализа приземной годовой температуры воздуха, реже – температуры сезонов года (зимы и лета), в особенности это касается факторного анализа урожайности. Регрессионная статистика и дисперсионный анализ полученных уравнений для степных районов Кулунды показали наибольший вклад в дисперсию урожайности среднелетней температуры воздуха, поэтому проведено сопоставление восстановленных значений урожайности и средней летней температуры, рассчитанной по данным истинных инструментальных наблюдений метеостанции Барнаул (рис. 5).

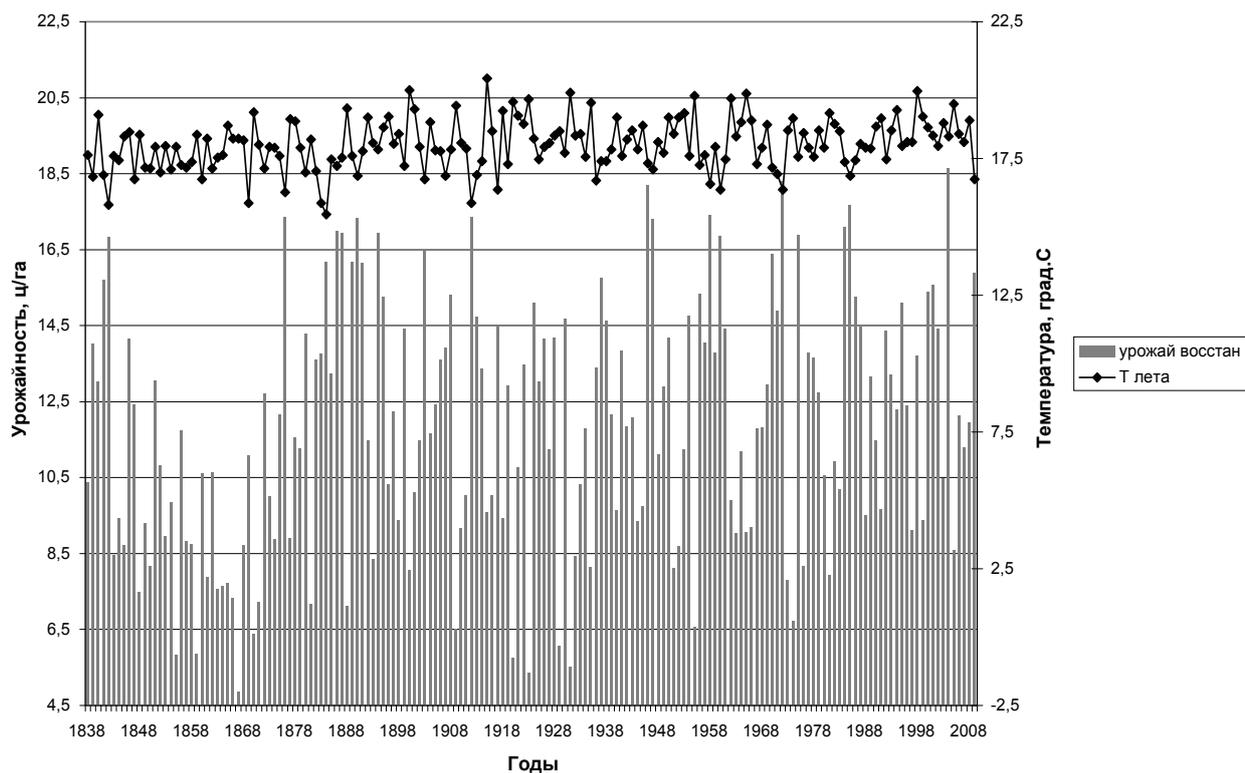


Рис. 5. Урожайность зерновых для Павловского района (урожай восстановленный) в сопоставлении со средней температурой лета, 1838–2005 гг.

Прослеживается хорошая корреляция неурожайных лет с высокой температурой летних сезонов и урожайных – с более низкой, что является вполне ожидаемым результатом для степных и лесостепных районов юга Сибири. Данный вывод подтверждается и сопоставлением экстремальных по урожайности лет с наиболее теплыми летними сезонами (табл. 5).

Таблица 5

Годы с минимальной урожайностью и наиболее высокой температурой лета, ц/га

Годы с наименьшей урожайностью	Годы с наиболее высокой $T_{лет}$
1915 – 4,85	1915 – 20,4
1923 – 5,37	1900 – 20,0
1931 – 5,50	1998 – 20,0
1920 – 5,75	1931– 19,9
1855 – 5,83	1965 – 19,9
1859 – 5,85	1955 – 19,8
1929 – 6,08	1923 – 19,7
1870 – 6,39	1962 – 19,7
1909 – 6,52	1920 – 19,6
1955 – 6,50	1935 – 19,5
1974 – 6,71	2005 – 19,5
1881 – 7,18	1909 – 19,4

Расхождения объясняются ошибками рядов наблюдений и ограниченным количеством метеорологических факторов в предложенных зависимостях. Требуется продолжение работы по расширению базы климатической информации для улучшения качества регрессионных моделей, дальнейшее исследование воздействия основного лимитирующего фактора растениеводства в степных районах – количества атмосферных осадков.

Представленные изменения летней (рис. 5) и годовой [7] температуры воздуха позволяют сделать предположение об их распределении и до начала инструментальных наблюдений в Барнауле. Период 1820–1840 гг. был очень холодным, в отличие от предшествовавшего теплого периода 1790–1820 гг., перед которым наблюдался исключительно холодный период 1760–1790 гг. Годовые температуры воздуха  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже должны были существенным образом сказываться на развитии растительности. Однако следует иметь в виду, что значительное похолодание проявлялось в основном в холодное время года, а суммы температур выше  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (активных температур) в окрестностях Барнаула составляли  $1600\text{--}1800\text{ }^{\circ}\text{C}$  и в районах Кулунды –  $1900\text{--}2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Такие уменьшенные суммы активных температур в сочетании с суровыми зимами оказывали неблагоприятное воздействие на существование степных сообществ, оставаясь вполне комфортными для лесных.

На следующем этапе работы по теме проекта необходимо углубленное изучение особенностей формирования режима увлажнения Кулунды. Имеется ряд инструментальных наблюдений метеостанции Барнаул, на основе которого определены тенденции изменения годовых осадков, достоверные также для восточных районов Алтайского края. Корреляция режима увлажнения Барнаула со степными западными районами более низкая вследствие особенностей атмосферной циркуляции. Преобладание нисходящих потоков воздуха над Кулундинской равниной способствует размыванию фронтов в перемещающихся циклонах, увеличенной повторяемости антициклональной ясной или малооблачной погоды. Поэтому даже в годы повышенного увлажнения остальной территории края западные районы могут испытывать существенный

дефицит осадков. И на фоне выявленной тенденции пониженного увлажнения в середине XIX в., а также 20–30-х гг. XX в. существенно усиливалась аридизация именно этой территории, что способствовало развитию негативных последствий в виде серий неурожайных лет, отражающихся на состоянии сельского хозяйства, структуре землепользования.

В.С. Мыглан, анализируя современные ряды урожайности, зависимость между периодами повышения летних температур, временем проявления засух и неурожайными годами на обширной территории Алтайского горного округа и Иртышской линии крепостей (Барабинские степи), сделал вывод о значительном влиянии внутривековых колебаний климата на земледельческое хозяйство. Результаты, полученные нами, подтверждают данный вывод.

### Библиографический список

1. IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge, New York [Electronic recourse]. – URL: <http://www.ipcc.ch>.
2. ИГКЭ: Изменения климата России. Веб-сайт ГУ Института Глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, 2011 [Электронный ресурс]. – URL: [www.climatechange.ru](http://www.climatechange.ru), <http://climatechange.igce.ru/>.
3. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории РФ. – М., 2008 [Электронный ресурс]. – URL: <http://climate2008.igce.ru/v2008/htm/index00.htm>.
4. Шварц Е.А., Кокорин А.О. Проект WWF по воздействию изменений климата на экосистемы // Влияние изменения климата на экосистемы. – М., 2001.
5. Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве России / под ред. А.Л. Иванова, В.И. Кирюшина. – М., 2009.
6. Мыглан В.С. Влияние климатических изменений на социальные и природные процессы в Сибири в XVII – первой половине XIX вв. по историческим и дендрохронологическим данным : автореф. дис. ... канд. ист. наук. – Красноярск, 2005.
7. Харламова Н.Ф., Михайлова Л.А. Особенности динамики климатического фактора существования степных экосистем // Степи Северной Евразии : материалы IV межд. симпозиума. – Оренбург, 2006.