

На правах рукописи



**НИКОЛАЕВА ЗОЯ НИКОЛАЕВНА**

**АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ  
ЮЖНО-МИНУСИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ**

03.00.16 – экология

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Красноярск – 2005

Работа выполнена на кафедре земледелия аграрного факультета в ФГОУ ВПО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова»

Научный руководитель доктор биологических наук, профессор Чупрова Валентина Владимировна

Официальные оппоненты:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор Едлемеичев Юрий Федорович;  
кандидат биологических наук Жирнова Дина Федоровна

Ведущая организация Государственный комитет по охране окружающей среды и природопользования Республики Хакасия

Защита диссертации состоится 11 ноября 2005 года в 15<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 220. 037. 01 при ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет» по адресу: 660049, г. Красноярск-49, проспект Мира, 88. Факс: (3912) 27-87-52

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет»

Автореферат разослан 1 октября 2005 г.

Учёный секретарь диссертационного совета

Полонская Д.Е.

**Актуальность** исследований определяется важнейшей (планетарной) ролью агроклиматических ресурсов в продукционном процессе на Земле и непосредственно связана с проблемой глобального потепления климата. Средняя годовая температура воздуха увеличилась за прошедшее столетие примерно на  $0,6^{\circ}\text{C}$  (Яншин, Будыко, Израэль, 2001). В течение нескольких десятилетий текущего столетия прогнозируется повышение средней температуры на  $1-3,5^{\circ}\text{C}$  (Second Assessment Climate Change, 1995). Потепление климата окажет значительное воздействие на условия среды обитания, обеспечивающие и лимитирующие функционирование естественных и антропогенных систем. Потепление приведет к изменению продуктивности растений, в т.ч. и сельскохозяйственных, и осложнит режим природопользования. Поэтому проблеме глобального потепления климата с его негативными последствиями уделяется большое внимание, что привело к созданию Рамочной конвенции ООН об изменении климата (1992 г.).

Для уточнения реальных оценок современных тенденций изменения климата необходимы региональные исследования. К настоящему времени выявлены некоторые пространственно-временные тенденции динамики климата, указывающие на повышение средних годовых температур в ряде регионов России (Кабанов, 1997). Пространственно-временные изменения климатических показателей юга Средней Сибири, в пределах Южно-Минусинской котловины, изучены недостаточно. Получение региональных оценок этих показателей будет способствовать увеличению базы данных для характеристики климатоэкологического состояния среды обитания (Буфал, Густокашина, Трофимова, 2003) и для прогнозов изменений локального климата территории под влиянием естественных и антропогенных факторов.

Земледельческая территория Южно-Минусинской котловины в границах Республики Хакасия занимает важное место в агропромышленном производстве. Изменение продуктивности основных сельскохозяйственных культур с учетом возможных региональных изменений климата в разных ландшафтно-климатических зонах должно быть изучено на выявленных за прошлые годы связях между урожайностью и агроклиматическими показателями.

**Цель** – анализ пространственно-временных изменений агроклиматических показателей на территории Южно-Минусинской котловины в границах Хакасии

**Основные задачи:**

1. Сформировать банк данных как основу для ведения агроклиматического мониторинга.
2. Получить количественные оценки изменений термических условий.
3. Определить количественные оценки изменений среднегодовых, среднесезонных и за вегетационный период сумм осадков.
4. Оценить скорость изменений основных агроклиматических показателей.
5. Выявить основные агроклиматические переменные, влияющие на изменчивость продуктивности сельскохозяйственных культур (на примере зерновых).

**Научная новизна.** На основе обобщения большого массива данных (1941-2000 гг.) представлена оценка состояния, динамики и прогноза изменений агроклиматических ресурсов на территории Южно-Минусинской котловины в границах Хакасии. Показано устойчивое повышение среднегодовой температуры воздуха со скоростью  $0,02^{\circ}\text{C}/\text{год}$  в степи и лесостепи и  $0,04^{\circ}\text{C}/\text{год}$  в сухой степи. Обнаружены тенденции увеличения осадков в третьем 20-летии (1981-2000 гг.) периода исследований. Получены новые материалы, выявившие влияние агроклиматиче-

ских показателей (сумма осадков основной части вегетационного периода, средняя температура всего и основной части вегетационного периода) на урожайность зерновых культур в условиях региона

**Практическая значимость работы** состоит в возможности использования созданного банка данных в качестве основы для ведения агроклиматического мониторинга, для моделирования пространственно-временной динамики агроклиматических показателей и их отклика на антропогенные воздействия. Результаты исследований могут учитываться при организации и планировании сельскохозяйственных мероприятий подбор сортов полевых культур, агротехника и т.п. Созданная модель зависимости урожайности зерновых культур от основных агроклиматических показателей может использоваться для прогнозных целей. Материалы исследований применяются в учебном процессе Хакасского государственного университета им Н Ф Катанова по курсам «Агрометеорология», «Агроэкология» и «Охрана окружающей и природной среды».

**Защищаемые положения:**

1 На территории Южно-Минусинской котловины за период 1941-2000 гг наблюдается устойчивое повышение среднегодовой температуры воздуха за счет зимних сезонов со скоростью 0,06 °С/год.

2 Тенденции увеличения осадков осенью, зимой и весной отмечаются в лесостепной, степной и сухостепной зонах, летом – в степи и лесостепи Южно-Минусинской котловины

3. Количество осадков основной части вегетационного периода оказывает влияние на продуктивность зерновых культур в сухостепи, термические условия - в степи и лесостепи. Статистическая модель описывает экспоненциальную зависимость урожайности зерновых культур от основных агроклиматических показателей в сухостепной зоне Южно-Минусинской котловины

**Апробация работы.** По теме диссертации опубликовано 8 научных работ: 1 статья, 6 материалов научных конференций и школ, 1 тезисы научной конференции. Основные материалы исследований доложены и обсуждены на Международной конференции по фундаментальным наукам «Ломоносов-2003» (Москва, МГУ, 2003); IV Съезде Докучаевского общества почвоведов (Новосибирск, 2004); Третьей Научной Школе «Болота и биосфера» (Томск, Томский государственный педагогический университет, 2004), Международной научно-практической конференции «Современные исследования в физико-математических науках» (Петропавловск, Северо-Казахстанский университет им М. Козыбаева, 2004); Международной научно-практической школы-конференции «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий» (Абакан, Хакасский государственный университет им Н Ф Катанова, 2004), III Всероссийской научной конференции «Современные проблемы почвоведения Сибири и оценки земель Сибири» (Томск, Томский государственный университет, 2005), научных семинарах кафедры земледелия Хакасского государственного университета им Н Ф Катанова (п. Зеленое, 2002-2005) и кафедры почвоведения и агрохимии Красноярского государственного аграрного университета (Красноярск, 2005).

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 145 страницах компьютерного набора, состоит из введения, пяти глав, выводов, библиографического списка и приложения. Содержит 21 таблицу и 22 рисунка. Библиографический список включает 171 источник, из них 10 на иностранных языках.

**Личный вклад.** Систематизация натуральных агроклиматических показателей и урожайности зерновых культур, их обработка и интерпретация полученных результатов выполнены лично автором.

**Благодарности.** Автор выражает искреннюю признательность начальнику ГУ ХЦГМС Гусейнову В. А. за оказанную поддержку в работе с архивными документами, кандидату биологических наук Александровой С. В. за помощь в построении статистической модели зависимости урожайности зерновых культур от агроклиматических показателей.

## Глава 1

### Некоторые характеристики современного климата (обзор литературы)

На основе анализа научных публикаций приводятся современные исследования изменений климата в различных регионах мира, России и сопредельных государствах. Наиболее часто в литературе изменения климата связывают с долговременным изменением полей температуры, которые достаточно широко изучены отечественными и зарубежными авторами: М.И. Будыко (1972, 1974), Е.С. Рубинштейном (1973), Г.В. Груза, Э.Е. Раньковой (1980, 1989), К.Я. Винниковым (1985), М.И. Будыко, Ю.А. Изразлем, М.С. Маккракена (1991), К.Я. Кондратьевым (1992), Н. Tsuyoshi, Y. Ian (1993), R. von Hans (1993), D. Parker, P. Jones, C. Follang (1994), Е.С. Петровым (1994) и др. В последние годы интерес представляет изучение пространственно-временной изменчивости поля атмосферных осадков (Волкова, Кужевская, 2003). При этом необходимым звеном исследования глобальных изменений климата является региональный и локальный мониторинг (Кабанов, 1997).

## Глава 2

### Объекты и методы исследований

#### 2.1. Объекты и экологические условия региона исследований

Объектом наших исследований явились агроклиматические показатели метеостанций, типичных для сухостепной (ст. Хакасская), степной (ст. Бея) и лесостепной (ст. Таштып) ландшафтно-климатических зон. Выделение ландшафтно-климатической зоны сухости определено значением индекса сухости (2,3). Совпадение максимума осадков и высоких температур обуславливает здесь интенсивное испарение с поверхности почвы, что позволяет охарактеризовать данную территорию как слабоувлажненную, периодически подвергающуюся засухе (Лысанова, 2001). В степи и лесостепи значение индекса сухости составляет 1,6 и 1,4, соответственно. Геоморфологическая область расположения этих зон – Южно-Минусинская котловина, которая является южной частью межгорной Минусинской впадины.

В данной главе на основании литературных материалов (Сукачев, 1938; Реведатто, 1940; Соболевская, 1946; Петров, 1952; Градобоев, 1954; Криштофович, 1958; Ерохина, 1961; Михайлов, 1961; Черепнин, 1961; Справочник. ., 1967, 1968, 1969, 1970; Затькова, Раковец, 1969; Коляго, 1969; Рашба, 1973; Калеп, 1975; Куминова, 1976; Танзыбаев, 1975; Опасные. ., 1987; Создание. ., 1994) рассматриваются особенности тектонического строения территории и рельефа, характеристика растительности, климата, гидрографии, почвообразующих пород, почвенного покрова.

#### 2.2. Общая характеристика метеостанций

Рассмотрены сведения о метеостанциях (Хакасская, Бея, Таштып), на которых нами были отобраны агрометеорологические показатели. Даны их краткая историческая справка, физико-географическое расположение, программа наблюдений.

### 2.3. Методы исследований

В качестве агроклиматических показателей для каждой ландшафтно-климатической зоны использовали среднегодовые температуры воздуха, °С (СГТВ), среднемесячные температуры воздуха вегетационного периода, °С (ТВП

IV-IX месяцы), среднемесячные температуры воздуха основной части вегетационного периода, °С (ТОВП – V-VII месяцы), суммы активных температур, °С (САТ), суммы осадков за год, мм (СОГ), суммы осадков за вегетационный период, мм (СОВП-IV-IX месяцы), суммы осадков за основную часть вегетационного периода, мм (СООВП – V-VII месяцы) по метеостанциям Хакасская (сухостепь), Бея (степь), Таштып (лесостепь). На выбранных метеостанциях измерения осадков производились два раза в сутки по осадкомеру Третьякова для получения их количества за дневную и ночную половины суток в сроки, ближайшие к 8 и 20 часам поясного декретного (зимнего) времени (Наставление ., 1985). Измерение температуры производилось в психрометрической будке на высоте 2 м от подстилающей поверхности при помощи стационарного психрометра 8 раз в сутки в стандартные сроки: 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 час среднего гринвичского времени (СГВ), что соответствует 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21, 24 часам московского зимнего времени (Наставление ., 1985).

Выборку ежемесячных данных по осадкам и температуре сделали из архивных материалов Хакасского республиканского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 60-летний период (1941-2000 гг.). Данные 60-летнего периода разбили на три 20-летия и статистически обработали в программе Microsoft Excel XP. Для уточнения термического режима и распределения осадков обработали среднемесячную информацию температуры воздуха и суммы осадков за 60 лет по сезонам года. Для характеристики изменчивости СГТВ, ТВП, ТОВП, СОГ, СОВП, СООВП, а также среднесезонной температуры и среднесезонных сумм осадков применили трендовый анализ и метод скользящих средних (10-летнее сглаживание). Оценку параметров линейного тренда выполнили по методу наименьших квадратов (Пустыльник, 1968; Жуков, Полевой, Витченко, 1989) в программе Microsoft Excel XP. Получили уравнения линейных трендов.

Определение активных температур (САТ) производилось графически в программе Microsoft Excel XP по среднемесячным значениям 20-летий (Лекции ., 1966, Гулинова, 1974). Активные температуры служат показателем обеспеченности теплом периода активной вегетации сельскохозяйственных культур. По графику среднемесячных температур вегетационного периода для каждого 20-летия установили даты перехода температуры воздуха через 10°C весной и осенью.

Зависимость урожайности зерновых культур от метеорологических условий оценена нами по данным 30-летних (1971-2000 гг.) наблюдений в каждой ландшафтно-климатической зоне. урожайность зерновых ( $y$ ), годовая сумма осадков ( $x_1$ ), сумма осадков за вегетационный период, апрель-сентябрь ( $x_2$ ), сумма осадков за май-июль ( $x_3$ ), среднегодовая температура ( $x_4$ ), средняя температура за апрель-сентябрь ( $x_5$ ), средняя температура за май-июль ( $x_6$ ). Выборка данных урожайности зерновых культур сделана из архивных документов Министерства сельского хозяйства Республики Хакасия. Динамику урожайности в каждой зоне исследовали по линейным трендам (результат 5-летнего сглаживания). Для статистической оценки рядов наблюдений использовали методы вариационного, корреляционного и регрессионного анализа по программе Statistics.

## Глава 3

### Региональные изменения термических условий

#### 3.1. Изменение средних сезонной и годовой температур воздуха

Нами выявлено, что фактический ряд среднегодовых температур воздуха изменяется достаточно синхронно во всех зонах, хотя в начале исследуемого периода (до конца 40-х годов) обособливается степь. За пределы среднеквадратического отклонения от средней многолетней годовой температуры вышли 22 случая. В рассмотренных 20-летиях выявили среднегодовое повышение температуры воздуха в сухостепи от  $0,1^{\circ}\text{C}$  в период с 1941-1960 гг до  $1,7^{\circ}\text{C}$  в период с 1981-2000 гг (табл 1) Однако наибольший прирост среднегодовой температуры (на  $0,8^{\circ}\text{C}$ ) отмечается во втором 20-летии. Наиболее холодным был период 1941-1960 гг., отрицательные значения среднегодовых температур наблюдались здесь 8 раз, в это же время было зафиксировано самое низкое значение среднегодовой температуры за 60 лет ( $-1,6^{\circ}\text{C}$ , ст. Хакасская, 1947г.) С 1981 по 2000 гг. отрицательное значение среднегодовой температуры наблюдалось один раз ( $-0,1^{\circ}\text{C}$ , ст. Хакасская, 1984 г.) В течение этого времени было отмечено самое высокое положительное значение среднегодовой температуры за 60 лет ( $3,0^{\circ}\text{C}$ , ст. Хакасская, 1997г.) Самая высокая среднегодовая температура воздуха за исследуемый 60-летний период, равная  $1,7^{\circ}\text{C}$ , наблюдается в степи (ст. Бея), в то время как в лесостепи ее значение составляет только  $0,6^{\circ}\text{C}$ . Изменение среднегодовых значений температур воздуха по 20-летиям в степи подобно изменению их в сухостепи: самое высокое среднегодовое значение температуры воздуха – в третьем 20-летии ( $2,2^{\circ}\text{C}$ ), самое низкое – в первом 20-летии ( $1,2^{\circ}\text{C}$ ). Тенденция роста среднегодовой температуры воздуха в лесостепной зоне несколько меньше, чем в сухостепной и степной зонах.

Выявлено, что наиболее ровный ход среднесезонных температур воздуха наблюдается в лесостепи: среднеквадратические отклонения имеют наименьшие значения по сравнению с сухостепью и степью. Самые низкие среднесезонные зимние температуры воздуха были в сухой степи ( $-13,9^{\circ}\text{C}$ ). Здесь же и наибольшее квадратическое отклонение. Среднесезонная температура летом во всех зонах изменяется в достаточно широких пределах, хотя квадратичные отклонения имеют довольно ровный ход, характерный также и для квадратичных отклонений среднесезонной температуры осенью. Наименьшее варьирование среднесезонной температуры воздуха проявляется в осенний период. Амплитуда средней сезонной температуры воздуха зимой отмечена наибольшей в сухой степи. Она составляет  $11,0^{\circ}\text{C}$ . В лесостепи и степи наблюдаются одинаковые значения среднесезонной амплитуды, равные  $9,2^{\circ}\text{C}$ . Весной и летом обнаружили сглаживание среднесезонной амплитуды температуры воздуха во всех ландшафтно-климатических зонах, осенью амплитуда увеличивается и изменяется от  $4,5^{\circ}\text{C}$  в лесостепи до  $5,4^{\circ}\text{C}$  в степи.

Установлено, что в среднегодовой температуре за период с 1941 по 2000 гг. в ландшафтно-климатических зонах Южно-Минусинской котловины наблюдается устойчивый положительный тренд (рис 1). Самый высокий положительный тренд ( $0,04^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ) отмечается в сухой степи. В степной и лесостепной зонах он одинаков и равен  $0,02^{\circ}\text{C}/\text{год}$ .

Наиболее динамична тенденция потепления в период с 1981 по 2000 гг., что не только не противоречит, но и подтверждает основные показатели увеличения среднегодовой глобальной температуры воздуха, отмеченные в работах ведущих российских ученых (Кабанов, 1997, Яншин, Будыко, Израэль, 2001)

Таблица 1. Средняя многолетняя (1941-2000 гг.) температура воздуха за год и ее статистические параметры, °С

Ландшафтно-климатические зоны	Периоды	$\bar{X} \pm iS_x$	$S^2$	S	max	min	Амплитуда
<b>ст. Хакасская</b>							
Сухостепь	1941-1960 гг	0,1±0,35	0,37	0,75	1,2	-1,6	2,8
	1961-1980 гг	0,9±0,41	0,79	0,89	2,0	-0,7	2,7
	1981-2000 гг	1,7±0,43	0,83	0,91	3,0	-0,1	3,1
	<b>1941-2000 гг.</b>	<b>0,9±0,27</b>	<b>1,12</b>	<b>1,06</b>	<b>3,0</b>	<b>-1,6</b>	<b>4,6</b>
<b>ст. Бая</b>							
Степь	1941-1960 гг	1,2±0,31	0,43	0,65	2,2	-0,2	2,4
	1961-1980 гг	1,6±0,43	0,84	0,92	2,9	-0,2	3,1
	1981-2000 гг	2,2±0,41	0,76	0,87	3,6	0,6	3,0
	<b>1941-2000 гг.</b>	<b>1,71±0,24</b>	<b>0,84</b>	<b>0,92</b>	<b>3,6</b>	<b>-0,2</b>	<b>3,8</b>
<b>ст. Таштыл</b>							
Лесостепь	1941-1960 гг	0,1±0,24	0,27	0,52	1,2	-0,7	1,9
	1961-1980 гг	0,5±0,42	0,81	0,90	1,8	-1,6	3,4
	1981-2000 гг	1,1±0,35	0,56	0,75	2,4	-0,1	2,5
	<b>1941-2000 гг.</b>	<b>0,59±0,22</b>	<b>0,71</b>	<b>0,84</b>	<b>2,4</b>	<b>-1,6</b>	<b>4,0</b>

Примечание: Здесь и далее  $\bar{X}$  – среднее арифметическое,  $iS_x$  – доверительный интервал,  $S^2$  – дисперсия, S – среднее квадратическое отклонение, max – максимальное значение показателя, min – минимальное значение показателя

### 3.2. Динамика термических ресурсов вегетационного периода

Среднемесячные значения температуры воздуха за апрель-сентябрь (ТВП) с 1941 по 2000 годы следующие: самые высокие (13,1°С) – в сухой степи, самые низкие (11,5°С) – в лесостепи. Значения ТВП в сухостепной зоне менялись от 11,5°С (1958г., ст. Хакасская) до 15,0°С (1945г., ст. Хакасская). Изменения средних значений ТВП по трем 20-летиям невелики: от 12,9 до 13,2°С. При анализе статистических данных ТВП в сухой степи и степи оказалось, что значения стандартного отклонения близки, максимальная амплитуда совпадает и составляет 3,5°С, хотя тренд в степной зоне имеет отрицательный знак (-0,004°С/год) (табл 2)

В лесостепной и сухостепной зонах наблюдаются положительные тренды. Однако скорость трендов очень небольшая, что позволяет говорить о незначительном повышении температуры воздуха за вегетационные периоды 1941-2000 гг. Таким образом, выявленное повышение годовой температуры приземного слоя воздуха происходит не за счет повышения ее в вегетационный период, а за счет общего потепления зимних сезонов.

Таблица 2 Уравнения трендов среднемесячной температуры воздуха (1941-2000 гг.) за вегетационный период (апрель-сентябрь), °С

Ландшафтно-климатические зоны	Уравнение тренда
Сухостепь	$y=0,001x+13,0$
Степь	$y=-0,004x+12,3$
Лесостепь	$y=0,004x+11,4$



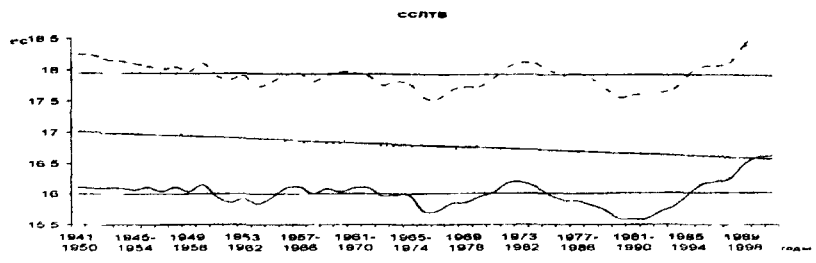
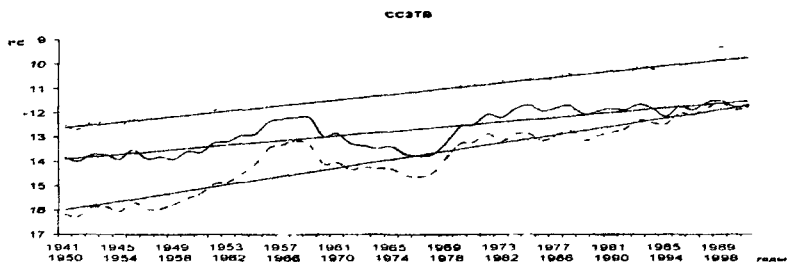
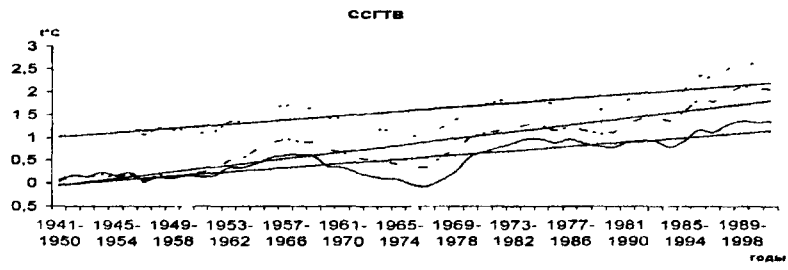


Рис. 1. Скользящие 10-летние средние годовые и сезонные температуры воздуха  
 ССГТВ – сглаженные среднегодовые, ССЗТВ – сглаженные средние зимние,  
 ССЛТВ – сглаженные средние летние  
 (— — сухостепь, - - - - - степь, ——— лесостепь)

### 3.3. Изменения температуры воздуха за основную часть вегетационного периода

Поскольку главной причиной низких урожаев сельскохозяйственных культур в регионе является засуха в весенне-летний период, мы рассмотрели не только температуру воздуха за апрель-сентябрь, но и значения среднесесячных температур воздуха за май-июль (табл.3)

Таблица 3 Средняя многолетняя (1941-2000 гг ) температура воздуха (°С) за основную часть вегетационного периода (май-июль) и ее статистические параметры

Ландшафтно-климатические зоны	Периоды	$\bar{X} \pm tS_x$	S <sup>2</sup>	S	max	min	Амплитуда
<b>ст. Хакасская</b>							
<b>Сухостепь</b>	1941-1960 гг	16,1±0,48	1,07	1,03	18,2	14,4	3,8
	1961-1980 гг	16,0±0,45	0,92	0,96	18,6	14,7	3,9
	1981-2000 гг	16,3±0,52	1,23	1,11	18,6	14,4	4,2
	<b>1941-2000 гг.</b>	<b>16,1±0,26</b>	<b>1,05</b>	<b>1,03</b>	<b>18,6</b>	<b>14,4</b>	<b>4,2</b>
<b>ст. Бая</b>							
<b>Степь</b>	1941-1960 гг	15,2±0,53	1,28	1,13	17,5	13,0	4,5
	1961-1980 гг	15,0±0,44	0,88	0,94	18,0	13,8	4,2
	1981-2000 гг	15,1±0,48	1,07	1,03	17,3	13,6	3,7
	<b>1941-2000 гг.</b>	<b>15,1±0,26</b>	<b>1,04</b>	<b>1,02</b>	<b>18,0</b>	<b>13,0</b>	<b>5,0</b>
<b>ст. Таштып</b>							
<b>Лесостепь</b>	1941-1960 гг	14,2±0,45	0,94	0,97	15,9	12,3	3,6
	1961-1980 гг	14,3±0,43	0,84	0,92	17,0	13,1	3,9
	1981-2000 гг	14,5±0,46	0,95	0,97	16,2	13,0	3,2
	<b>1941-2000 гг.</b>	<b>14,3±0,24</b>	<b>0,89</b>	<b>0,94</b>	<b>17,0</b>	<b>12,3</b>	<b>4,7</b>

Среднесесячные значения ТОВП за 1941-2000гг возрастают от лесостепной к сухостепной зоне. Средние квадратические отклонения колеблются в пределах 0,9-1,1. Значительных изменений среднесесячных температур воздуха в основной части вегетационного периода за 60-летний ряд наблюдений в каждой природной зоне, также как и колебаний в значениях их трендов не выявлено. Значение тренда ТОВП в сухой степи и лесостепи соответствует тренду ТВП, в степной же зоне происходит увеличение его отрицательного значения до -0,006°С

### 3.4. Продолжительность периода активной вегетации и сумма активных температур

Полученные результаты показали, что максимальные значения сумм среднесуточных температур выше 10°С (САТ) в сухостепной зоне наблюдаются в период 1981-2000 гг. Они составляют 2125°С. Среднее же значение САТ за 60 лет равняется 2062°С (табл 4). Увеличение сумм активных температур в сухой степи связано с явно проявившейся тенденцией более раннего перехода температуры воздуха через 10°С в весенний период. Продолжительность периода со среднесуточной температурой воздуха выше 10°С близка к фактической периода вегетации растений в самой активной

фазе Его величина за рассматриваемый 60-летний период в сухостепной зоне наибольшая и составляет 130 дней Средние даты перехода температуры воздуха через 10°C: 11 мая – весной и 18 сентября – осенью.

В степи САТ за рассмотренный период изменилась от 1810°C до 1900°C, среднее же ее значение составляет 1860°C. Даты перехода среднесуточной температуры воздуха через 10°C: 11 мая весной и 10 сентября осенью Период со среднесуточной температурой выше 10°C в степи составляет 122 дня

Таблица 4. Суммы среднесуточных температур (САТ) и продолжительность периода со среднесуточной температурой воздуха выше 10°C с 1941 по 2000гг

Ландшафтно-климатические зоны	Периоды	САТ, °C	Переход t воздуха через 10°C		Продолжит периода с t более 10°C, (дни)
			весной	осенью	
<b>ст. Хакасская</b>					
<b>Сухостепь</b>	1941-1960 гг	2065	11 V	18 IX	130
	1961-1980 гг	1997	14 V	17 IX	126
	1981-2000 гг	2125	6 V	17 IX	134
	<b>1941-2000 гг.</b>	<b>2062</b>	<b>10 V</b>	<b>17 IX</b>	<b>130</b>
<b>ст. Бая</b>					
<b>Степь</b>	1941-1960 гг	1860	13 V	11 IX	121
	1961-1980 гг	1810	15 V	10 IX	118
	1981-2000 гг	1900	7 V	10 IX	126
	<b>1941-2000 гг.</b>	<b>1860</b>	<b>11 V</b>	<b>10 IX</b>	<b>122</b>
<b>ст. Таштып</b>					
<b>Лесостепь</b>	1941-1960 гг	1700	14 V	7 IX	116
	1961-1980 гг	1680	15 V	7 IX	115
	1981-2000 гг	1735	12 V	8 IX	119
	<b>1941-2000 гг.</b>	<b>1705</b>	<b>14 V</b>	<b>7 IX</b>	<b>117</b>

Продолжительность периода со среднесуточной температурой воздуха выше 10°C в лесостепи снизилась до 117 дней.

Во всех зонах с первого по третье 20-летие наблюдается постепенное увеличение САТ и временного периода со среднесуточной температурой воздуха выше 10°C

## Глава 4

### Региональные изменения атмосферных осадков

#### 4.1. Динамика среднегодовых и среднесезонных сумм осадков

По многолетним данным, в ландшафтно-климатических зонах Южно-Минусинской котловины количество осадков колеблется весьма значительно как по отдельным годам, так и по периодам, что сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур Минимальные годовые суммы осадков (СОГ) отмечаются в сухой степи (табл. 5). 303 мм за 60-летний период В разные годы их количество варьирует от 149 мм (ст. Хакасская, 1945г) до 453 мм (ст. Хакасская, 1967 г), характер выпадения часто ливневый От первого ко второму 20-летию происходило уменьшение СОГ на 4,4 мм, от второго к третьему 20 летию – уве-

личение СОГ на 9,2 мм. Средние многолетние суммы осадков в зоне степи равняются 397 мм. Выявили постепенное увеличение годовых сумм осадков от первого ко второму 20-летию на 12,5 мм, а от второго к третьему 20-летию – на 44,2 мм. Их средняя сумма в степи с 1981 по 2000 гг. достигает 431 мм, что составляет 108,5% от среднегодовой суммы осадков за 60 лет. Среднеквадратическое отклонение за все 20-летия остается достаточно высоким, от 79 до 84 мм. Лесостепная зона более увлажнена по сравнению с сухостепной и степной. Здесь СОГ за рассматриваемый 60-летний период равна 433 мм. Тенденция распределения их количества такая же, как степи: увеличение от первого ко второму 20-летию на 8,2 мм, от второго к третьему 20-летию – на 36,8 мм. Наибольшее варьирование осадков везде наблюдается с 1961 по 1980 гг.

Таблица 5. Среднегодовые суммы осадков (1941 – 2000 гг.) и их статистические параметры, мм

Ландшафтно-климатические зоны	Периоды	$\bar{X} \pm iS$	S <sup>2</sup>	S	Max	Min
<b>ст. Хакасская</b>						
<b>Сухостепь</b>	1941-1960 гг	302,4±28,4	3698,6	60,8	381	149
	1961-1980 гг	298,4±35,1	5634,2	75,1	453	205
	1981-2000 гг	307,6±23,3	2476,1	49,8	408	224
	<b>1941-2000 гг.</b>	<b>302,8±16,0</b>	<b>3817,4</b>	<b>61,8</b>	<b>453</b>	<b>149</b>
<b>ст. Бая</b>						
<b>Степь</b>	1941-1960 гг	374,2±39,0	6957,2	83,4	516	277
	1961-1980 гг	386,7±39,1	6996,8	83,6	598	265
	1981-2000 гг	430,9±37,0	6268,0	79,2	624	327
	<b>1941-2000 гг.</b>	<b>397,3±21,8</b>	<b>7113,1</b>	<b>84,3</b>	<b>624</b>	<b>265</b>
<b>ст. Таштып</b>						
<b>Лесостепь</b>	1941-1960 гг	425,2±33,6	5163,9	71,9	510	223
	1961-1980 гг	433,4±45,6	9508,6	97,5	703	218
	1981-2000 гг	470,2±27,7	3524,3	59,4	565	341
	<b>1941-2000 гг.</b>	<b>443,0±20,4</b>	<b>6250,0</b>	<b>79,1</b>	<b>703</b>	<b>218</b>

СОГ на всей исследуемой территории в 1967 году превышает двойное среднеквадратическое отклонение. Этот год был самым мокрым для сухостепи и лесостепи. Здесь наблюдали максимальные годовые значения суммы осадков за исследуемый период (453 мм и 703 мм, соответственно). В степи максимальное годовое значение суммы осадков зафиксировали в 1996 году – 624 мм.

Самым сухим годом в Южно-Минусинской котловине оказался 1945 год. Недобор осадков превышает двойное среднеквадратическое отклонение. Их количество варьировало от 149 мм в сухостепи до 223 мм в лесостепи, хотя самый засушливый год в лесостепи наблюдали в 1962 году с годовой суммой осадков 218 мм.

Далее рассмотрели СОГ по сезонам года и выявили самые влажные и сухие годы в каждой зоне котловины. Аномально влажным для всех зон был летний сезон 1967 г. В сухостепи за лето количество осадков составляло 193%, в степи – 208%, в лесостепи – 247% от нормы. Летнее количество осадков на всей исследуемой терри-

тории превышало тройное среднеквадратическое отклонение К аномально сухим летним сезонам в сухостепи относится лето 1945 года, когда количество осадков составляло 86 мм. Самый сухой летний сезон в степи наблюдается в 1975 г. с количеством осадков 74 мм; в лесостепи – 1962 г с количеством осадков 86 мм За исследуемый период отмечается значительное варьирование летних осадков. Наметьшиеся увеличение их количества прослеживается в степи и лесостепи. В осенние сезоны исследуемого периода также отметили увеличение количества осадков.

Атмосферные осадки – один из наиболее изменчивых климатических параметров. Рассматривая тренд среднегодового количества осадков, отметим, что в сухостепной зоне наблюдается самый малый положительный тренд, всего 0,08 мм/год (рис.2). Наибольший положительный тренд, равный 1,79 мм, прослеживается в степной зоне. Осенью за исследуемый период во всех зонах котловины наблюдается самый большой положительный тренд осадков: от 0,196 мм в сухостепи до 0,642 мм в степи (табл 6). За летний сезон отмечается значительное варьирование значений трендов от положительного (0,587 мм) в степи до отрицательного (-0,219 мм) в сухостепи. В достаточно широких пределах изменяются значения трендов зимой и весной. Весной их значения в сухостепи и лесостепи близки (0,072 мм и 0,081 мм, соответственно), в степи положительный тренд достиг 0,298 мм. Зимой в степной и лесостепной зоне среднее значение тренда около 0,25 мм, зато в сухой степи он оказался на порядок ниже и составляет 0,021 мм. Во всех ландшафтно-климатических зонах наблюдается рост количества осадков в среднем на 5,4% за последнее исследуемое 20-летие по сравнению со средним значением за 60-летний период наблюдений. Для сравнения скажем, что на Нижнем Амуре их увеличением за период с 1981 по 2000 гг составило 11,5% по сравнению со средним значением за 100-летний период наблюдений (Новороцкий, 2004); для южных и центральных районов Предбайкалья также выявлена тенденция увеличения осадков с 1960 по 1994 гг.: тренд 0,1мм/год (Густокашина, Латышева, Мордвинов, 2004).

#### 4.2. Динамика осадков за вегетационный период

Основная часть осадков на исследуемой территории выпадает во время вегетационного периода, что объясняется условиями циркуляции атмосферы. В результате усиления циклонической деятельности максимум осадков приходится на вегетационный период (в зоне сухостепи – 83%, в степи – 82%, в лесостепи – 80% от годовой нормы). Максимальное количество осадков везде выпадает в июле-августе месяцах. Они в основном выпадают либо на холодных фронтах, либо в неустойчиво стратифицированном воздухе в области размытых малоподвижных депрессий и носят ливневый характер. Летом в котловины часто проникают ссеверные ветры. С вхождением воздуха с севера связано выпадение осадков. Количество осадков за апрель-сентябрь возрастает по мере увеличения высоты местности от сухостепной зоны (253 мм) к лесостепной (353 мм). В исследуемые первое и второе 20-летия (1941-1961, 1961-1980 гг.) среднее количество осадков за вегетационный период во всех зонах мало изменялось. В последнем исследуемом 20-летии (1981-2000 гг.) намечилось небольшое увеличение СОВП на 2% в сухостепи, на 13% в степи и на 12% в лесостепи по сравнению с их средними значениями за весь исследуемый период. По линейным трендам сумм осадков за вегетационный период (рис. 3) видим, что самое большое значение тренда СОВП наблюдается в степи – 1,27 мм, в лесостепи его величина уменьшается до 0,89 мм, а в сухостепи приобретает отрицательное значение - 0,05 мм. В многолетнем ходе сумм осадков за вегетационный период наблюдается изменчивость их распределения по всем зонам, хотя на большей ее части прослеживается тенденция к их увеличению.

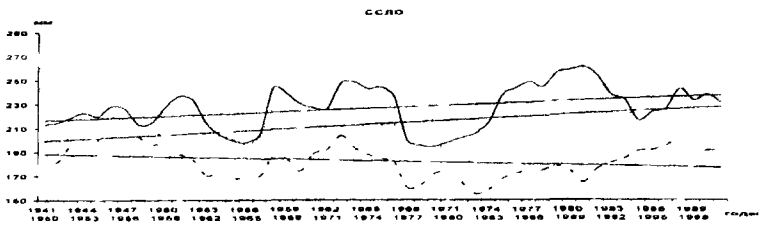
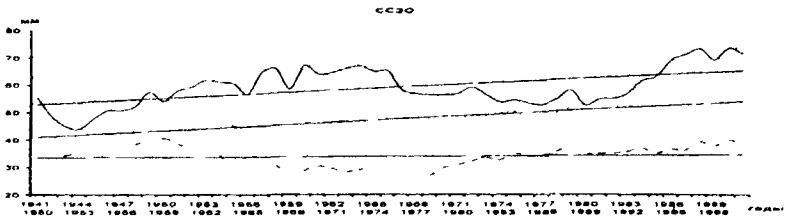
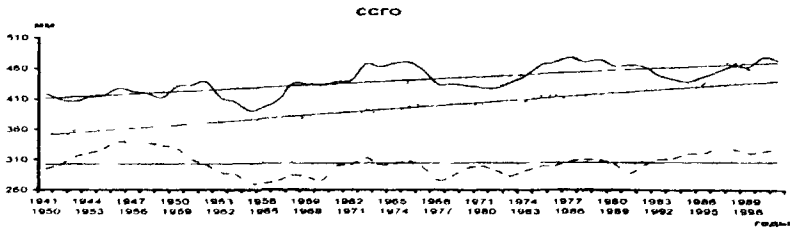


Рис 2 Скользящие 10-летние среднегодовые и сезонные суммы осадков  
 ССГО – сглаженные среднегодовые суммы, ССЗО – зимние, ССЛО – летние,  
 ( — — сухостепь, - - - - степь, ————— лесостепь)

Таблица 6 Уравнения трендов среднегодового и среднесезонного количества осадков за 60 лет (1941-2000 гг.), мм

Ландшафтно-климатические зоны	Уравнение тренда				
	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
Сухостепь	$y=0,08x+302,1$	$y=0,021x+33,5$	$y=0,072x+35,0$	$y=-0,219x+188,0$	$y=0,196x+45,8$
Степь	$y=1,79x+350,5$	$y=0,259x+40,9$	$y=0,298x+59,3$	$y=0,587x+199,2$	$y=0,642x+51,8$
Лесостепь	$y=1,20x+410,7$	$y=0,249x+52,9$	$y=0,081x+76,2$	$y=0,433x+216,4$	$y=0,411x+65,6$

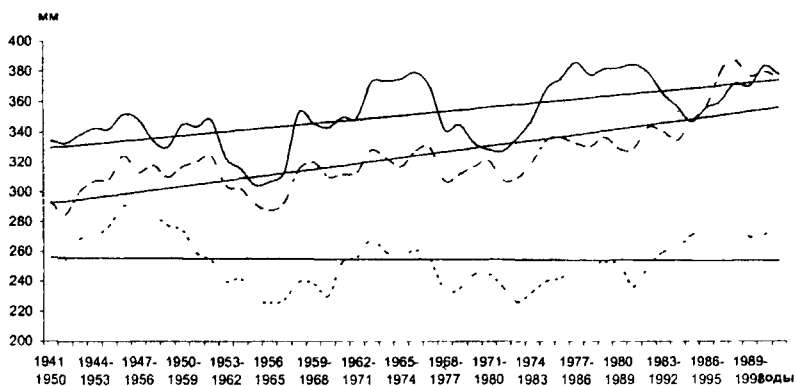


Рис 3 Многолетний ход месячных сумм осадков вегетационного периода (апрель-сентябрь) тренд при 10-летней фазе скольжения осреднения  
(— — сухостепь, - - - - - степь, ——— лесостепь)

#### 4.3. Динамика осадков за основную часть вегетационного периода

Осадки – основной источник влаги, являющийся в степях лимитирующим фактором развития растений. Они формируют почвенные влагозапасы, определяющие жизнедеятельность биоты, особенно структуру и биомассу растительного покрова (Антипов, Корытный, 1981). В регионе количество осадков за основную часть вегетационного периода изменяется от 153 мм в сухостепи до 210 мм в лесостепи. Распределение по 20-летиям СООВП следующее: от первого ко второму 20-летию намечилось незначительное уменьшение (от 2 до 5 мм) среднемесячных сумм осадков во всех зонах, от второго к третьему 20-летию в лесостепи и степи произошло некоторое увеличение осадков (от 11 до 16 мм). Основной недостаток осадков за ОВП прослеживается и усиливается от второго к третьему 20-летию в сухостепи. С 1961-1980 гг. в лесостепи отмечено наибольшее среднее квадратическое отклонение 86,7 мм. В этот же период здесь зафиксированы максимальная (520 мм) и минимальная (104 мм) суммы осадков. В степи и сухостепи стандартное отклонение более сглажено по 20-летиям и не превышает 39-63 мм. Действительно, значения трендов показали их разнонаправленность и неустойчивость СООВП на исследуемой территории (рис 4). В сухой степи отмечается отрицательный тренд со значением 0,32 мм/год. В степи и лесостепи он положителен и колеблется от 0,10 до 0,45 мм в год.

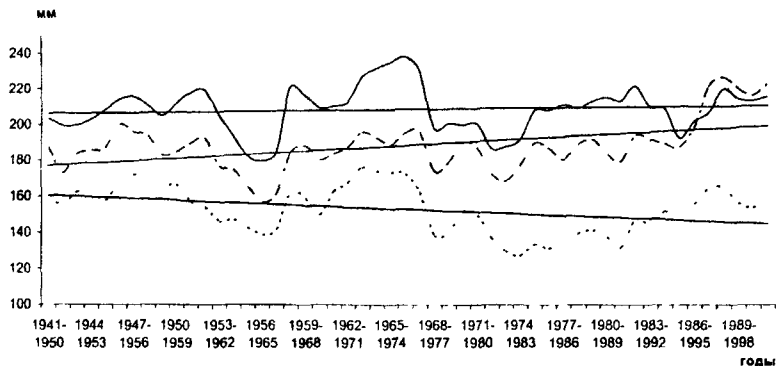


Рис 4 Многолетний ход месячных сумм осадков основной части вегетационного периода (май-июль) тренд при 10-летней фазе скользящего осреднения (----- сухостепь, - - - степь, ————— лесостепь)

## Глава 5

### Зависимость продуктивности агроценозов от агроклиматических условий

Изменчивость урожайности зерновых культур в регионе за период 1971-2000 гг хорошо прослеживается при рассмотрении линейных трендов (рис.5). Согласно полученным уравнениям трендов, урожайность зерновых культур в среднем осталась на одном уровне, хотя в степи отмечается ее небольшой рост. Диапазон колебаний урожайности в регионе обусловлен внутренними различиями природных факторов, действие которых усиливается или ослабляется под влиянием увлажненности

Полученные данные корреляционной зависимости урожайности зерновых культур от агроклиматических показателей показывают, что сильной линейной зависимости урожайности от влажностных и температурных показателей зачастую не наблюдается. Можно лишь говорить о достоверно значимом влиянии суммы осадков основной части вегетационного периода ( $x_3$ ) во 2-м и 3-м десятилетиях на урожайность зерновых культур в сухостепи. Можно также отметить неплохую линейную зависимость урожайности зерновых культур от средней температуры вегетационного периода ( $x_5$ ) и от средней температуры основной части вегетационного периода ( $x_6$ ) в степной и лесостепной зонах региона. Но при этом меняется характер зависимости. На протяжении всех трех десятилетий периода наблюдений все коэффициенты корреляции урожайности имеют отрицательный знак. Следовательно, мы имеем дело с обратной зависимостью этих показателей. Дальнейшее повышение летних температур воздуха на фоне недостаточного увлажнения может привести к заметному снижению уровня урожайности. Зависимость же урожайности от количества осадков прямая. Проанализировав коэффициенты корреляции в целом и отказавшись от построения линейных моделей, мы склонились к разработке многофакторной экспоненциальной зави-



симости урожайности зерновых культур от агроклиматических показателей для сухостепной зоны

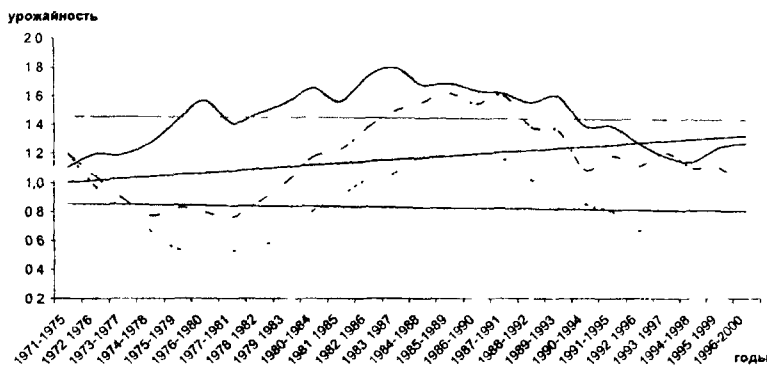


Рис 5 Многолетний ход урожайности зерновых культур (т/га) по ландшафтно-климатическим зонам Южно-Минусинской котловины ) тренд при 5-летней фазе скользящего осреднения (----- сухостепь, - - - степь, — лесостепь)

### Практические рекомендации

1. Созданный банк данных среднемесячной, среднегодовой, среднесезонной температуры воздуха, температуры воздуха за вегетационный период и основную часть вегетационного периода, а также данных среднемесячных, среднегодовых и среднесезонных сумм осадков, осадков за вегетационный период и основную часть вегетационного периода является базисом или точкой отсчета для дальнейшего ведения агроклиматического мониторинга на территории Южно-Минусинской котловины
2. Статистические характеристики агроклиматических показателей в природных зонах Южно-Минусинской котловины рекомендуются для оценки вклада естественной и антропогенной составляющей в региональные изменения климата
3. При определении эффективности возделывания зерновых культур предлагается учитывать изменения суммы осадков и средних температур воздуха за основную часть вегетационного периода (май-июль).
4. При прогнозировании урожайности зерновых культур в сухостепной зоне Южно-Минусинской котловины рекомендуется использовать разработанную модель.  $y = -8,5 - 12,6 \exp(-0,0005 \cdot x_1 + 0,0003 \cdot x_2 + 0,0006 \cdot x_3 - 0,01 \cdot x_4 + 0,002 \cdot x_5 - 0,02 \cdot x_6)$ , где  $y$  – урожайность зерновых, т/га,  $x_1$  – годовая сумма осадков, мм,  $x_2$  – сумма осадков вегетационного периода, мм,  $x_3$  – сумма осадков основной части вегетационного периода, мм;  $x_4$  – среднегодовая температура воздуха, °С,  $x_5$  – средняя температура воздуха вегетационного периода (IV-IX), °С,  $x_6$  – средняя температура воздуха основной части вегетационного периода (V-VII), °С

## Выводы

1 Среднегодовая температура воздуха за период 1941-2000 гг на территории Южно-Минусинской котловины равняется  $0,59 \pm 0,22^\circ\text{C}$  в лесостепной зоне,  $0,9 \pm 0,27^\circ\text{C}$  в сухостепной,  $1,71 \pm 0,24^\circ\text{C}$  в степной. От первого (1941-1960 гг) к третьему (1981-2000 гг) 20-летию отмечается устойчивое повышение среднегодовой температуры воздуха. Тренд среднегодовых температур воздуха в сухой степи составляет  $0,04^\circ\text{C}/\text{год}$ . в степи и лесостепи –  $0,02^\circ\text{C}/\text{год}$ . Потепление климата происходит в большей степени за счет зимних сезонов (тренд  $0,06^\circ\text{C}/\text{год}$ ), в меньшей степени – весенних (тренд  $0,008^\circ\text{C}/\text{год}$ ).

2 Вегетационный период (апрель-сентябрь) 1941-2000 гг региона отличается незначительным повышением среднемесячной температуры воздуха. Хотя в третьем 20-лети (1981-2000 гг) этого периода уже проявляется более заметная тенденция увеличения среднемесячной температуры воздуха по сравнению с первым (1941-1960 гг) и вторым (1961-1980 гг) 20-летиями.

3 Основная часть вегетационного периода (май-июль) характеризуется несущественными изменениями среднемесячной температуры воздуха: небольшой положительный тренд ( $0,001$ ;  $0,004^\circ\text{C}$ ) наблюдается в сухой степи и лесостепи и незначительный отрицательный тренд ( $-0,006^\circ\text{C}$ ) – в степи.

4 Во всех ландшафтно-климатических зонах региона отмечается постепенное увеличение суммы активных температур от первого по третье 20-летие исследуемого периода. Одновременно возрастает продолжительность периода со среднесуточной температурой воздуха выше  $10^\circ\text{C}$ .

5 Сумма осадков в среднем за год периода наблюдений (1941 по 2000 гг) составляет  $443,0 \pm 20,4$  мм в лесостепи,  $397,3 \pm 21,8$  мм в степи и  $302,8 \pm 16,0$  мм в сухостепи. Заметный прирост количества осадков, несмотря на довольно большую межгодовую изменчивость, отмечается в третьем 20-лети (1981-2000 гг) периода исследований.

6 Скользящие 10-летние суммы осадков свидетельствуют о тенденции увеличения осадков осенью, зимой и весной во всех ландшафтно-климатических зонах региона, а летом – только в степи и лесостепи. Максимальные значения годовых трендов наблюдаются в осенние сезоны:  $0,196$  мм – в сухой степи,  $0,411$  мм – в лесостепи и  $0,642$  мм – в степи.

7 В сухой степи региона прослеживается уменьшение осадков за вегетационный период и основную часть вегетационного периода. В степи и лесостепи обнаруживается увеличение осадков за вегетационный период со скоростью  $1,27$  мм/год и  $0,89$  мм/год, за основную часть вегетационного периода – со скоростью  $0,45$  мм/год и  $0,10$  мм/год, соответственно.

8 Урожайность зерновых культур по уравнениям тренда за период 1971-2000 гг остается на одном уровне в сухостепи и лесостепи, но увеличивается с очень небольшой скоростью в степной зоне. Флуктуации в многолетней динамике урожайности зерновых культур сохраняются в любой природной зоне региона.

9 Наибольшее влияние на формирование урожайности зерновых культур в условиях сухой степи оказывает сумма осадков основной части вегетационного периода, а в условиях степи и лесостепи – средняя температура воздуха вегетационного периода и основной части вегетационного периода. Созданная многофакторная модель экспоненциальной зависимости урожайности зерновых культур от агроклиматических показателей характеризуется достаточно высоким коэффициентом детерминации ( $R^2 = 0,68$ ).

**Основные положения диссертации опубликованы в работах:**

1. Николаева, З Н Агроклиматические ресурсы земель сельскохозяйственной территории Хакасии / З.Н Николаева, О.Л.Донская // Тезисы докладов X международной конференции студентов и аспирантов по фундаментальным наукам «Ломоносов-2003». – М.: МГУ, 2003 – С. 95-96.
2. Чупрова, В В. Оценка биологической продуктивности современных агроценозов Хакасии / В.В Чупрова, О Л Донская, З.Н Николаева // Вестник КрасГАУ – 2003 – Вып 2 – С. 84-90.
3. Николаева, З Н Оценка состояния изменчивости осадков на сельскохозяйственной территории Южно-Минусинской котловины / З.Н.Николаева // Почвы – национальное достояние России мат-лы IV съезда Докучаевского общества почвоведов: В 2 кн. – Новосибирск: Наука-Центр, 2004. Кн 2 - С 302.
4. Быстрова, Е.С Изменение агроклиматических показателей в лесостепной, степной и сухостепной зонах Хакасии / Е С Быстрова, З Н Николаева // Болота и биосфера: сборник мат-лов Третьей научной школы (13-16 сентября 2004 г.). – Томск Изд-во ЦНТИ, 2004 – С. 158-163
5. Николаева, З Н Оценка состояния изменчивости температуры воздуха на сельскохозяйственной территории Южно-Минусинской котловины / З Н.Николаева, В А.Гусейнов // Современные исследования в астрофизике и физико-математических науках: мат-лы междунар. научн.-практ. конф. – Петропавловск. СКГУ им. М. Козыбаева, 2004. – С. 256-259.
6. Быстрова, Е С Региональные изменения термических условий в Южно-Минусинской котловине / Е С Быстрова, З.Н Николаева, Ю М Ярмолюк // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий: мат-лы VIII Международ. научн школы-конференции студентов и молодых ученых: В 2 т. – Абакан: Изд-во Хакасского гос. ун-та им. Н.Ф. Катанова, 2004 – Т. I. – С 160-161.
7. Александрова, С В Некоторые статистики зависимости урожайности от метеорологических факторов / С В.Александрова, В В.Чупрова, З Н.Николаева // Аграрная наука на рубеже веков: мат-лы Всерос науч.-практ конф. – Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2005. - С 118-120
8. Александрова, С В Влияние метеорологических факторов на урожайность зерновых культур анализ и моделирование / С.В Александрова, В В.Чупрова, З Н Николаева // Современные проблемы почвоведения Сибири и оценки земель Сибири: мат-лы III Всероссийской научной конференции. – Томск. ТГУ, 2005. – С.255-257.

Подписано в печать 22 09 2005 Формат 60x84 1/16 Печать - ризограф

Бумага офсетная Гарнитура Times New Roman Физ печ л 1,25

Усл печ л 1,16 Уч -изд л 1 Тираж 100 экз Заказ № 160

Лицензия ИД 03204 от 10 ноября 2000 г

Издательство Хакасского государственного университета им Н Ф Катанова

Отпечатано в типографии Хакасского государственного университета им Н Ф Катанова  
655017, г Абакан, пр Ленина, 94

Р.

РНБ Русский фонд

2007-4

397



В 1 ЯНВ 2006