

На правах рукописи

СМИРНОВА Инна Иннокентьевна

**ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ
АГРОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КРИОАРИДНОГО КЛИМАТА
(на примере Западного Забайкалья)**

Специальность: 25.00.36 – геоэкология
(географические науки)

Автореферат
на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Улан-Удэ, 2011

Работа выполнена на кафедре мелиорации и охраны земель Института землеустройства, кадастров и мелиорации ФГБОУ ВПО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р.Филиппова»

Научный руководитель: доктор биологических наук,
профессор
Куликов Анатолий Иннокентьевич

Официальные оппоненты: доктор географических наук,
профессор Иметхенов
Анатолий Борисович

кандидат географических наук
Обязов Виктор Афанасьевич

Ведущая организация: Учреждение Российской академии наук
Институт географии им. В.Б. Сочавы
СО РАН

Защита диссертации состоится 29 декабря 2011 г. в 16 час. на заседании диссертационного совета ДМ 212.022.06 при ФГБОУ ВПО «Бурятский государственный университет» по адресу: 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а. Факс (3012)21-05-88; e-mail: univer@bsu.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВПО «Бурятский государственный университет».

Автореферат разослан ноября 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат географических наук, доцент

М.А. Григорьева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Климат является одним из ведущих экологических факторов, определяющих потенциал и особенности хозяйственного использования земель. Глобальные климатические изменения сопровождаются целым рядом экологических негативов - деградацией почв, снижением их продуктивности, что в конечном итоге ведет к опустыниванию. Изучение климата и погодных условий актуально в связи с тем, что до 50% (в зависимости от уровня интенсификации производства) от них зависит величина урожая сельскохозяйственных культур. Вместе с тем, исследования климата, особенно его циклической и трендовой составляющих, в регионе проведены недостаточно, что не позволяет использовать климатические ресурсы более полно.

Большие резервы кроются в таком актуальном направлении как установление объективных связей в системе погода-урожай. Традиционные методы принятия решений, основанные на практическом опыте, интуиции и несложных расчетах, в современных условиях становятся мало приемлемыми, в частности, они ориентированы, как правило, 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.

Целью работы является установление закономерностей изменения климатических условий и разработка адаптированных к условиям изменяющейся среды прогностических моделей погода-урожай.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

- Выявить параметры циклической и трендовой составляющих изменения климата и особенности климатических факторов современного природно-антропогенного процесса опустынивания;
- Определить статистические связи в системе погода-урожай и разработать прогнозные модели;
- Изучить и составить карту микроклиматических условий земель с расчлененным рельефом.

Объектом исследования являются агросистемы степной зоны Западного Забайкалья.

Предмет исследования – качественные и количественные показатели современных региональных изменений климата и динамика продуктивности агросистем.

Методы исследования

Решение проблемы долгосрочного прогноза погоды выполняется в синоптических, гидродинамических, гелиогеофизических и климатологических аспектах. Метод скользящих средних представляет собой некий «математический фильтр», позволяющий выделить колебания с большой длиной волны, значительно погасив короткопериодические колебания.

Асинхронный метод заключается в поиске и установлении асинхронных связей между элементами погоды. Здесь большое значение имеют некие сигналы в виде аномальных значений метеопараметров, которые могут быть использованы для прогноза. Методика определения динамики обеспеченности метеоземлементами в зависимости от циклов солнечной активности основана на обнаружении и статистическом подтверждении связей между элементами климата и солнечной активностью.

Научная новизна работы заключается в:

- получении параметров цикличности климата;
- выявлении знака и величины трендов климатических показателей, отражающих региональные особенности глобальных изменений;
- оценке опасности опустынивания и реализации технологии риск-анализа;
- параметризации ареала опустынивания на основе радиационного индекса сухости;
- создании моделей продуктивности агросистем в условиях криоаридного климата.

Практическая значимость работы. Гидрометеорологические показатели претерпели существенные, а по некоторым параметрам весьма существенные изменения по сравнению с данными, имеющимися в действующих агрометеорологических и климатологических справочниках, опубликованных в 60-70-е годы XX столетия, поэтому риски принятия неправильных решений, например, по срокам сельскохозяйственных мероприятий, отопительного сезона, навигации в регионе и пр. возрастают и повлекут неоправданные расходы. В этой связи имеющийся банк гидрометеорологической информации может стать востребованным в отраслях народного хозяйства.

Выявленные закономерности и разработанные модели погода-урожай могут быть использованы для организации системы оптимального землепользования. Полученные материалы по климатической изменчивости пополнят представления о региональной специфике опустынивания и могут послужить основой мониторинга. Данные по изменчивости климата используются в учебном процессе в курсах по климатологии и метеорологии, ландшафтоведению и геоэкологии.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на научных, научно-практических конференциях и симпозиумах: международных (Улан-Удэ, 2003; Улан-Батор, 2008), региональных (Улан-Удэ, 2004; Кемерово,

во, 2005), на заседаниях кафедры «Мелиорация и охрана земель» Бурятской ГСХА им. В.Р. Филиппова и нашли отражение в 9 опубликованных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 126 страницах компьютерного текста и состоит из введения, 4 глав и выводов. Содержит 13 таблиц, 30 рисунков. Список литературы включает 156 наименований, в том числе 8 иностранных авторов. Структура работы отражает содержание исследования.

В первой главе «Природно-климатические условия Западного Забайкалья» проведен обзор литературных источников, освящающих исследования природных факторов определяющих продуктивность агросистем: рельеф, климат, растительность, почвы; рассмотрены особенности процесса опустынивания, в частности его климатической составляющей.

Во второй главе «Цикличность и трендовые изменения климата» определены основные методы исследования временных рядов, выявлены циклические и трендовые составляющие изменения климата в целях долгосрочного прогнозирования метеопараметров.

В третьей главе «Моделирование тепловлагообеспеченности и продуктивности агросистем» на основе статистического анализа и корреляционно-регрессионных функций разработаны модели продуктивности агросистем, определены временные и пространственные изменения почвенно-экологического индекса.

В четвертой главе «Микроклиматическая неоднородность земель в расчлененном рельефе» устанавливаются основные закономерности радиационного режима, топоэкологические коэффициенты контрастности склоновых ландшафтов Тапхарской депрессии как модельного участка для микроклиматологического картографирования.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, СОСТАВЛЯЮЩИЕ ПРЕДМЕТ ЗАЩИТЫ

1. Выявленные на основе связи с солнечной активностью внутривековые циклы и тренды температуры воздуха и суммы атмосферных осадков устанавливают изменение региональной климатической системы и оценивают динамику климатических индикаторов опустынивания.

По данным метеостанции Улан-Удэ за 103 года (1900-2003 гг.), потепление климата оценивается ростом температуры воздуха на 2,5°C (рис. 1). При этом в Новоселенгинске среднегодовая температура воздуха повысилась на 1,8, в Кяхте – на 1,6°C. Получены уравнения линейного тренда среднегодовой температуры воздуха (Y), которое для Улан-Удэ имеет вид: $Y = 0,0247 X - 49,383$. Наиболее резкие изменения среднегодовой температуры воздуха происходят с 70-х гг. XX в., что характерно для северного полушария и согласуется с данными Всемирной метеорологической организации (Изменение

климата... (2003), а также данными для ряда пунктов России (Перльштейн и др., 2006; Мельников и др., 2007; Куликов, Куликов, Смирнова, 2008 и др.).

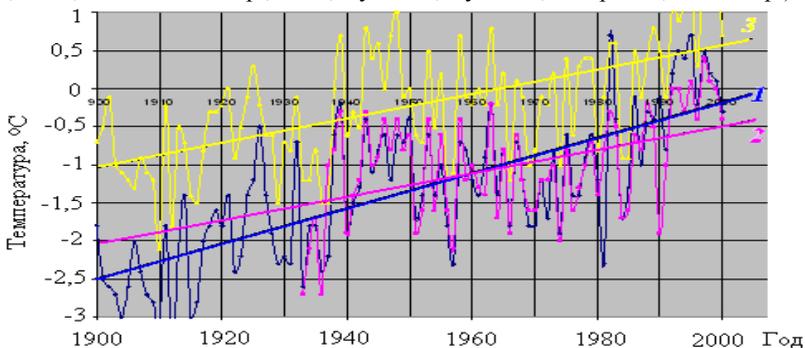


Рис. 1. Многолетняя динамика и тренды среднегодовой температуры воздуха в Западном Забайкалье. 1 – Улан-Удэ, 2 – Новоселенгинск, 3 - Кяхта

Важно, что в Улан-Удэ, Кяхте значение среднегодовой температуры пересекает нулевой рубеж. Рубежность 0°C в том, что в Западном Забайкалье термодинамически становится невозможным новообразование мерзлоты, а существовавшая островная мерзлота не имеет перспектив сохраниться.

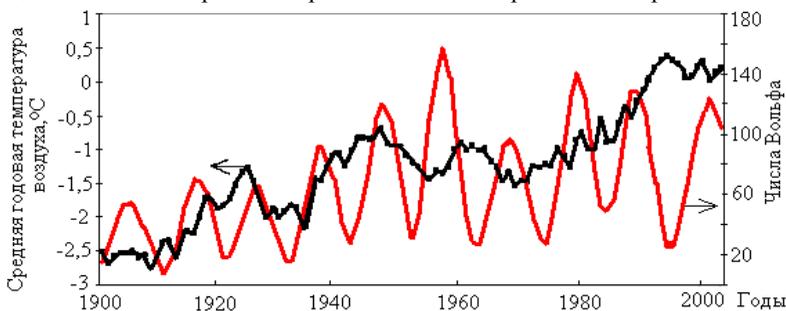


Рис. 2. Синхронно-асинхронная изменчивость многолетней динамики среднегодовой температуры воздуха и солнечной активности (сглаженные ряды с шагом 5 лет)

После предварительной фильтрации шумовой составляющей получено, что до начала 50-х годов XX столетия прослеживается достаточно четкая синхронная связь температуры с динамикой чисел Вольфа (максимумы обеих кривых примерно совпадают). Сбой климатической системы наблюдается с середины 50-х годов, когда кривые начинают изменяться в противофазе (рис. 2). В этой связи примечательна инверсия знака коэффициента корреляции (r) между средней годовой температурой воздуха и числами Вольфа, указываю-

щая на такие метаморфозы. Так, на отрезке согласованного хода $r = 0,36$, а при противофазной динамике он становится слабо отрицательным $r = -0,08$.

Посезонный анализ позволяет выявить структуру явления потепления климата, установить количественный вклад каждого сезона и обнаружить критический период, ответственный за интегральный эффект. Исследования временного ряда с 1970 по 2003 гг. показывают, что рост средних температур зимнего периода составил $1,1^{\circ}\text{C}$, примерно в такой же степени происходит потепление лета. При этом для весеннего периода отмечается похолодание примерно на $0,5^{\circ}\text{C}$. Осень за последние 33 года потеплела незначительно, приблизительно на $0,3^{\circ}\text{C}$. Это указывает на то, что повышение среднегодовых температур происходит в большей степени за счет потепления зимнего и летнего сезонов.

В многолетней динамике суммарных значений температуры воздуха временной темп роста суммы температур воздуха выше 0 и выше 10°C больше, чем темп нарастания суммы температуры воздуха выше 5°C (рис. 3). Так, из угловых коэффициентов уравнений следует, что $\sum t > 0^{\circ}\text{C}$ и $\sum t > 10^{\circ}\text{C}$ имеют темп нарастания соответственно $10,3$ и $11,4^{\circ}\text{C}/\text{год}$, тогда как $\sum t > 5^{\circ}\text{C}$ во времени увеличивается с темпом $9,4^{\circ}\text{C}/\text{год}$.

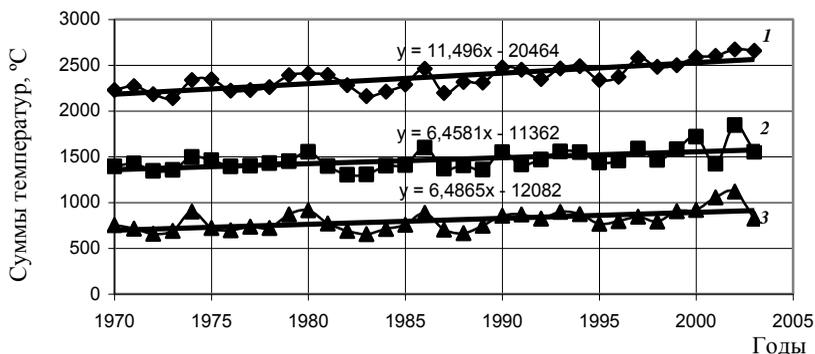


Рис. 3. Многолетняя изменчивость сумм температур выше 0 (1), 5 (2), 10°C (3) с линиями и уравнениями тренда

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. В Улан-Удэ $\sum t > 10^{\circ}\text{C} = 1897^{\circ}\text{C}$, при экстремумах 1548 (1995 г.) и 2371°C (2002 г.).

Тренд-анализ показывает (Убугунов, Куликов, Смирнова, Мангатаев, 2008), что показатель $\sum t > 10^{\circ}\text{C}$ на территории Западного Забайкалья возрастает

ет в разных пунктах с длинными (более 100 лет) рядами наблюдений на 370-450°С. Если воспользоваться эмпирической формулой Г.Т.Селянинова:

$$I_{с} = \frac{\sum t > 10^0 C}{10} = 1 \text{ мм,}$$

где $I_{с}$ – испаряемость воды, то вытекает, что потенциал испарения возрос на 37-45 мм. Из этого следует, что по дефициту испарения климатическую норму орошения необходимо принимать на 370-450 м³/га больше существующих. Этот вывод имеет существенное значение и вкладывает новое агро-мелиоративное содержание в глобальные изменения. Тем более это важно, что исследования многолетнего ряда (с 1900-2003 гг.) не показывают какого-либо статистически достоверного прироста количества атмосферных осадков. Величина роста климатической нормы орошения весьма существенна, если учесть, что в настоящее время в Бурятии орошается 151257 га земель, а потенциальный мелиоративный фонд составляет 2306 тыс. га.

Понятно, что такая тенденция климатических изменений требует новой стратегии землепользования в сельскохозяйственном производстве на мелиоративных и других землях, функционирующих в условиях аридизации и опустынивания.

Глобальные изменения отражаются на продолжительности сезонов (рис. 4). Установлено увеличение весеннего, летнего и осеннего сезонов, соответственно зимний период сокращается. Если в начале 1970-х годов продолжительность периодов с положительными и отрицательными температурами была примерно равна (180-185 дней), то в начале 2000-х годов продолжительность периода с температурами выше 0°С составляет более 200 дней.

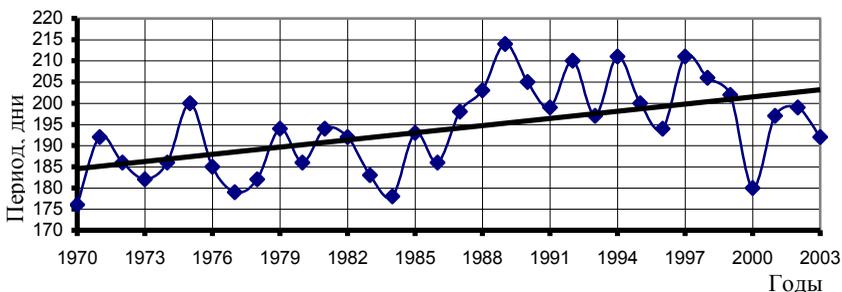


Рис. 4. Динамика продолжительности периода между датами перехода через 0°С и линия тренда

Таким образом, исследования показывают, что в Западном Забайкалье происходит заметное увеличение продолжительности теплого периода с одновременным увеличением сумм температур. Это свидетельствует и об уве-

личении продолжительности вегетационного периода, о повышении обеспеченности растений теплом и росте потенциала испарения.

В степной и сухостепной зонах основным лимитирующим фактором сельского хозяйства является количество атмосферных осадков, поэтому прогноз этого показателя имеет большое значение.

Средний уровень количества выпадающих атмосферных осадков в Западном Забайкалье незначительный, колеблется от 220 (Новоселенгинск) до 346 мм/год (Кяхта), причем на протяжении почти 80-ти лет он остается практически неизменным по средней величине. Однако весьма значительна неустойчивость количества осадков по годам, что является одним из важных условий рискованности земледелия. Так, абсолютный максимум осадков, приходящийся на 1959 г., составляет 413,3 мм, а абсолютный минимум, наблюдавшийся в 1989 г., равен 106,5 мм.

Сглаженный ряд по полиномиальной модели 6-й степени позволяет выделить 3 цикла большого временного диапазона. Длительность больших циклов составляет примерно 35 лет, что укладывается в брикнеровскую цикличность, период которой равняется 30-50 лет, а в среднем 35 лет (Климатология, 1989). На брикнеровские циклы наложены более мелкие циклы. При фильтрации временного ряда с пятилетним шагом выявляется до 9 циклов с меньшим временным диапазоном (рис. 5).

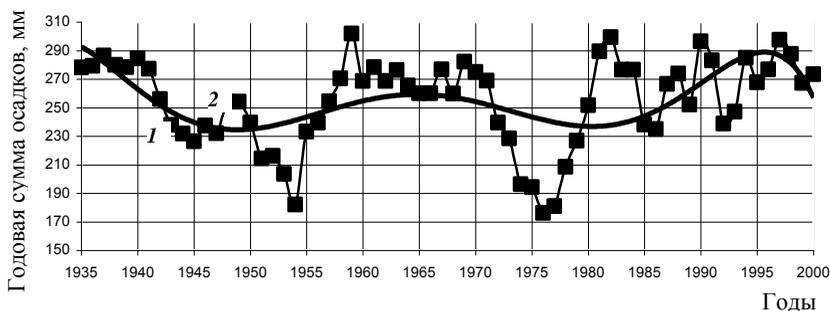


Рис. 5. Цикличность годовой суммы атмосферных осадков. Сглаживание: 1 – полиномом 6-й степени, 2 – математической фильтрацией с шагом 5 лет

С 1935 г. выявляется достаточно длительный (8 лет) цикл повышенного атмосферного увлажнения, сопровождающийся пессимумом до 1947 г. Довольно низко увлажненность падает в обортоне 1951-1957 гг. Последующий цикл 1958-1972 гг. характеризуется достаточно высоким увлажнением, но с мелкими разнознаковыми изменениями на всем его протяжении. Такие же частотные, но уже с гораздо большей амплитудой колебания наблюдаются в последние годы, начиная с 1991 г. Этот период включает в себя одно-, двух-годовые обортоны, которые невозможно считать полноценно значимыми

циклами ввиду их непродолжительности. В силу этого период с 1991 по 2003 гг. принимается как единый цикл.

Из выделенных 9 циклов, 5 – повышенного увлажнения и соответственно 4 – пониженного увлажнения. По длительности циклы различны: от 3 до 15 лет (табл. 1) и совпадают с известными 11-летними циклами солнечной активности.

Стандартное отклонение, как мера того, насколько широк разброс эмпирических данных относительно их среднего, показывает, что во времени атмосферное увлажнение становится все менее стабильным. Так, если в первом периоде (1935-1942) вариабельность количества годовых осадков измерялась стандартным отклонением, равным $\pm 32,2$ мм (13%), то в настоящее время отклонения от климатической нормы возросли и стандартное отклонение стало составлять уже $\pm 65-83$ мм, т.е. отклонения от средней достигли 25-32%.

Таблица 1

Характеристика циклов повышенного (+) и пониженного (-) атмосферного увлажнения

№ цикла	Климациклы по годам	\pm	T	\bar{X}	X_{max}	X_{min}	Σ
I	1935-1942	+	8	283,0	336,6	230,0	32,2
II	1943-1947	-	5	237,8	289,0	160,0	48,4
III	1948-1950	+	3	265,8	305,8	232,3	-
IV	1951-1957	-	7	212,9	271,1	158,2	40,3
V	1958-1972	+	15	268,9	413,3	152,7	60,3
VI	1973-1981	-	9	206,7	365,9	138,9	64,7
VII	1982-1985	+	4	312,1	327,9	298,2	-
VIII	1986-1990	-	5	235,1	312,2	106,5	82,8
IX	1991-2003	+	13	277,1	407,1	186,4	65,0
Среднее	1935-2003		69	256,0	413,3	106,5	-

T – длительность цикла, год; \pm циклы повышенного или пониженного атмосферного увлажнения; \bar{X} – среднее значение суммы осадков, мм; X_{max} X_{min} – экстремумы количества осадков, мм; σ – стандартное отклонение количества осадков, мм

Резкие различия атмосферного увлажнения между годами подразумевают увеличение вероятности экстремальных случаев, что существенно осложняет ведение сельского хозяйства и еще раз подчеркивает актуальность разработки надежных прогностических моделей. Чтобы уйти от жесткой зависимости сельскохозяйственного производства от погодных условий необходимо развитие новых технологий, особенно оросительных.

2. Прогностические модели тепловлагообеспеченности определяют потенциал продуктивности агросистем и обеспечиваются статистическим анализом и корреляционно-регрессионными функциями метеопараметров и урожайности.

Прогноз обеспеченности теплом вегетационного периода является следующим шагом после исследования динамики и структуры потепления. В соответствии с проведенными исследованиями, связь между датой перехода среднесуточной температуры через 10°C и суммой температур выше 10°C оценивается коэффициентом корреляции $r = -0,43$ (рис. 6).

Видно, что чем позже происходит переход среднесуточных температур через определенный предел, тем меньше сумма температур за данный период. Аналогичные данные получены и по другим пунктам Западного Забайкалья. Тем самым, полученные данные по Западному Забайкалью согласуются с концепцией Ф.Ф. Давитая (1964) и с результатами расчетов А.И. Куликова и др. (1997).

Прогноз теплообеспеченности предстоящего сельскохозяйственного года в виде суммы активных температур воздуха ($\sum t > 10^{\circ}\text{C}$) проводят, зная дату (D) перехода средней температуры в мае через 10°C (можно узнать на ближайшей метеостанции), по регрессионной модели $\sum t > 10^{\circ}\text{C} = -64,72D + 904,27$. Тем самым уже в мае можно располагать информацией об ожидаемых тепловых ресурсах вегетационного сезона.

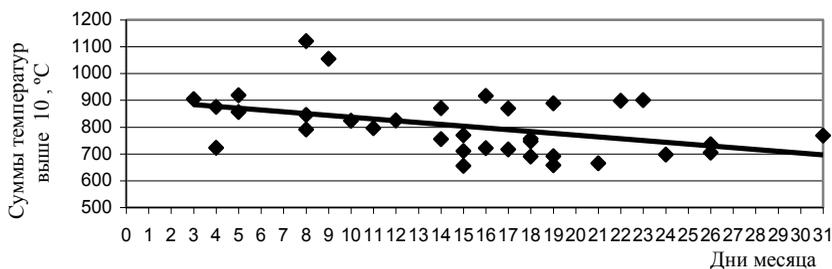


Рис. 6. Связь между датой весеннего перехода температуры через 10°C (май) и суммой температур выше 10°C

Для создания надежного прогноза используют также данные по динамике солнечной активности, измеряемой в числах Вольфа. Так, установлено, что за 68 лет в Западном Забайкалье фиксируется 6 полных одиннадцатилетних циклов солнечной активности (рис. 7). При этом на каждый пик возрастания активности солнца приходится снижение количества осадков ниже среднесуточного уровня, вероятность совпадения составляет 100%, причем в 4-х случаях из 6-ти (66,7%), количество осадков снижается до значений менее 200 мм (острозасушливая ситуация), в 2-х случаях количество осадков снижается до уровня ниже 150 мм. При этом в 4-х случаях наиболее существ-

венное снижение происходит на 2-й год после пика солнечной активности. Во всех 6-ти случаях в годы, последующие после минимума, наблюдается значительное повышение количества годовых осадков со значениями гораздо выше средних многолетних. Причем в 4-х случаях нарастание продолжается в течение двух лет, достигая пика на 2-й год и совпадает с падением солнечной активности.

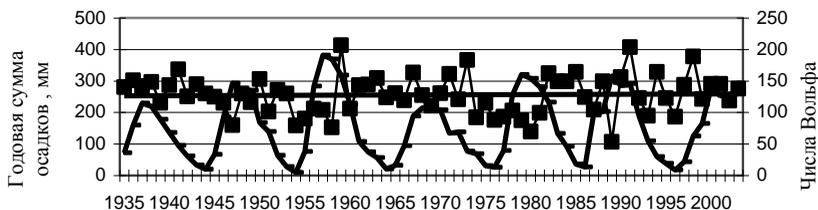


Рис. 7. Сопряженная изменчивость годовой суммы осадков и солнечной активности

Причина такой зависимости заключается в том, что при усилении солнечной активности повышается ионизация верхних слоев атмосферы полярных областей и усиливается вертикальная составляющая циклонической деятельности тропосферы. Циклоны с запада, приносящие основные осадки в Центральную Азию, в годы активного Солнца не могут дойти до нашего региона. В годы же ослабления солнечной активности циклоны с запада все-таки прорываются сквозь ослабившиеся потоки вертикальных тропосферных течений и вызывают обильные осадки.

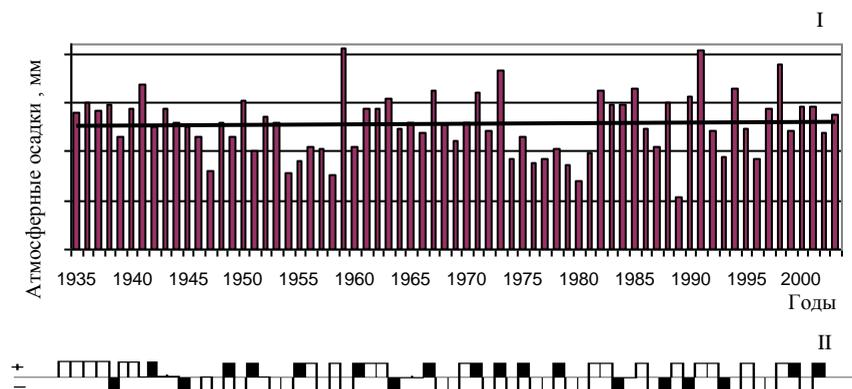


Рис. 8. Динамика сумм годовых осадков (I) и шкала динамики тенденций (II)

При допустимой ошибке 5% построен график (рис. 8) динамики атмосферного увлажнения по методике И.П. Дружинина (1977), где годы с тен-

денцией повышения увлажнения отмечены как столбики вверх от средней линии, а годы с тенденцией понижения увлажнения, соответственно, как столбики вниз. Общее число тенденций – 39, из них 1-годичных – 23 (59%), 2-годичных – 14 (36%), 3-годичных – 1 (2,5%), 4-годичных -1 (2,5%). Залитыми столбиками отмечены годы совпадения солнечных реперов с годами начала смены тенденции.

Большая вероятность таких совпадений (16 из 19 реперов – 84 %) свидетельствует об их неслучайности, что позволяет использовать данные о солнечных циклах для прогноза количества атмосферных осадков, особенно экстремальных по величине.

Другие модели имеют качественный характер и представляют собой взаимодополняющие и уточняющие друг друга прогнозы (табл. 2).

Таблица 2

Вероятностные показатели влагообеспеченности земледелия
степной зоны Республики Бурятия

№ под-хода	Прогнозные подходы	Вероятность, %
1	Вероятность уменьшения количества осадков в годы максимума солнечной активности	100
2	Вероятность <i>а)</i> уменьшения количества осадков на второй год после максимума солнечной активности	60
	<i>б)</i> снижения количества осадков до 200 мм и менее	60
	<i>в)</i> снижения количества осадков до 150 мм и менее	30
3	Вероятность <i>а)</i> повышения количества осадков после окончания пика солнечной активности	100
	<i>б)</i> наступления двухгодичной тенденции повышения увлажнения	83
4	Вероятность смены текущей тенденции в предстоящем году солнечного репера	84
5	Вероятность смены текущей тенденции на следующий год	59

Прогноз № 1 имеет абсолютную надежность (100%) и вытекает из факта, что в год пика солнечной активности наблюдается спад количества атмосферных осадков. Пик солнечной активности продолжается 1-3 года. Подход № 2*а* 60%-ной вероятности основан на том, что наибольший спад количества атмосферных осадков приходится именно на 2-й год после пика солнечной активности. Подходы № 2*б* и 2*в* имеют уточняюще-дополняющую функцию к подходу 2*а*. Прогноз по модели № 3 основан на том, что после окончания периода с высокой солнечной активностью наблюдается повышение количе-

ства осадков, особенно на второй год спада солнечной активности. Эта модель свидетельствует о том, что увеличение количества осадков в период спада солнечной активности происходит в каждом из годослучаев, т.е. вероятность равна 100%. С вероятностью 83% (подход № 3б) можно утверждать, что тенденция увеличения количества осадков продлится два года. Кроме этого на характер увлажнения влияют годы солнечных реперов (повышенные значения чисел Вольфа между смежными годами) – вероятность 84% (прогнозный подход № 4).

Подход № 5 основан на том, что 1-летние годослучаи достаточно представлены в статистическом ряду. Вероятность того, что следующий год будет противоположен по знаку тенденции настоящего года равен 59%.

Тем самым, модели, основанные на качественном подходе нередко более надежны по сравнению с аналитическими.

Наиболее благоприятные условия для опустынивания складываются в днищах котловин Западного Забайкалья при радиационном балансе, превышающем 1600 МДж/м^2 и значениях $R_\sigma/Lr > 2,0$ (R_σ – радиационный баланс, L – теплота парообразования, r – количество атмосферных осадков). В осях $H-\varphi$ (H – абсолютная высота, φ – широта) с координатами $< 900 \text{ м} - < 52^\circ$ формируется региональное "ядро" опустынивания, где $R_\sigma/Lr > 2,5$, а по внешнему кольцу – вторичный ареал. Сдвиг вторичного ареала в сторону высоких широт связан с наличием в регионе высокоширотных степных изолятов в таких котловинах, как Баргузинская и Муйско-Куандинская.

Климатическая параметризация опустынивания проведена также в сравнении наших данных за 1970-2003 гг. и данных, помещенных в «Справочниках по климату СССР» (1966, 1968), где обработаны временные ряды с 1900 или 1935 гг. по 1960 или 1965 гг. (для разных метеопараметров временные отрезки различаются). Исходили из допущения, что временной период, охваченный «Справочниками...», не характеризовался столь сильно выраженными процессами опустынивания, как последние три десятилетия.

Сравнение параметров преддесертификационного (1900-1965 гг.) и современного (1970-2003 гг.) периодов однозначно указывает на климатическую предрасположенность усиления процессов аридизации и десертификации (табл. 3). Климатическими условиями аридизации и опустынивания являются рост суммы температур выше 10°C , и увеличение продолжительности периода с этими температурами.

При совершенно малом увеличении количества атмосферных осадков повышение теплового фона вызывает испарение дополнительного количества влаги и усугубление засушливости климата Западного Забайкалья. Прямым указанием на усиление опустынивания в регионе является увеличение числа дней с сильными эрозионноопасными ветрами и количества дней с суховеями.

Сравнение данных, полученных по временным рядам с 1900 по 2003 гг., с данными из «Справочников по климату СССР» (1966, 1968) показывает значительное, а по некоторым параметрам очень значительное расхождение. Всем организациям, пользующимся метеорологической информацией, в первую очередь, сельскохозяйственным органам, а также энергетикам, строителям и др. необходимо учитывать это обстоятельство.

Таблица 3

Разностные показатели метеорологических параметров, полученные при сравнении авторских данных и данных из «Справочников по климату СССР» (1966, 1968), метеостанция Улан-Удэ

Метеопараметр	Разность
Средняя годовая температура воздуха, °С	+1,2
Средняя температура воздуха января, °С	+6
Сумма температур воздуха > 10°С	+400
Продолжительность периода с $t_{в} > 10^{\circ}\text{C}$, дни	+13
Сумма атмосферных осадков, мм/год	+6
Относительная влажность воздуха, %	-8
<i>ГТК</i>	-0,15
Количество дней с ветром более 5 м/с	+12
Количество дней с суховеями	+9

Современное опустынивание, как природно-антропогенное явление, получает новый импульс развития на песчаных почвах сельскохозяйственных угодий, площадь которых в Западном Забайкалье превышает 100 тыс. га (Иванов, 1966). Агрогенная деятельность способствует расширению деградации земель.

Для количественной оценки опасности опустынивания применена технология риск-анализа, алгоритм которой приведен в монографии «Природные ...» (2003) и продиктован решениями Всемирной конференции ООН по природным опасностям (Yokohama ..., 1995).

По значениям удельного физического риска видно, что из всех типов опустынивания наибольшую опасность для сельскохозяйственных земель Бурятии представляет дефляция. Площадная дефляция земель происходит с интенсивностью $2,2 \text{ год}^{-1}$. Водная эрозия имеет интенсивность $1,5 \text{ год}^{-1}$. Полный физический риск потери сельскохозяйственных земель в результате дефляции для всей Бурятии составляет 254,5 га/год. Дефляция приносит материальный ущерб, равный 89 га/год. Экономический риск в зависимости от типа опустынивания колеблется в пределах 430-700 руб./год. Экономическая уязвимость земель наибольшая при дефляционном разрушении.

Уязвимость населения от дефляции оценивается величиной 15 чел/год, а неблагоприятное действие водной эрозии и водной эрозии совместно с дефляцией ежегодно испытывают соответственно 12 и 11 человек соответственно, а уязвимость от засоления составляет 7,2 чел/год.

Для оценки опасности опустынивания разработаны линейные шкалы удельного физического риска и устойчивости земель к опустыниванию. Квантом изменчивости послужило значение стандартного отклонения.

Урожай является функцией многих факторов, среди которых погодные условия занимают одно из основных мест. Среднее значение урожайности пшеницы за период 1968-2004 гг., по данным ОПХ «Иволгинское», составляет 17,5 ц/га. Линейный тренд указывает на заметное (около 7 ц/га) снижение урожайности. Тренд описывается регрессионным уравнением вида $Y = -0,13X + 269,44$.

В многолетней изменчивости количества урожая выделяются определенные циклы. В 1968-1973 гг. урожайность приближается к среднему значению. В 1974-1976 гг. урожайность стабильно снижается, что связано, по видимому, с периодом пониженной влагообеспеченности. Наибольшие урожаи получены в начале 80-х годов XX в. В дальнейшем наблюдается устойчивое снижение урожайности, которое описывается регрессионной моделью $Y = -0,971X + 1953,6$. Тренд за период 1981-2004 гг. характеризуется высоким значением углового регрессионного коэффициента, который показывает, что урожайность пшеницы падает с темпом 1 ц/га в год.

Такая отрицательная динамика урожайности характерна для всего Западного Забайкалья, Бурятии и всей России. Она вызвана теми социально-экономическими потрясениями, которые постигли страну в годы перестройки и постперестроечное время. Тем самым в динамике урожайности с учетом социально-экономического фактора выделяется два этапа: предстагнационный и стагнационный. Логично также выделить пока еще неизученный третий этап – современный, связанный с новыми рыночно-экономическими условиями и земельными реформами.

Удостовериться в этом можно на объективной основе. Проведенные исследования статистической связи между количеством урожая и солнечной активностью указывают на то, что если за весь период связь между урожайностью и числами Вольфа характеризовалась низким коэффициентом корреляции $r = -0,3907$ (рис. 9).

В предстагнационный период динамика урожайности происходила строго в противофазе с числами Вольфа, что еще раз подтверждает результаты исследований динамики атмосферного увлажнения: чем выше активность Солнца, тем меньшее количество осадков выпадает, тем, соответственно, и меньше урожай, т.к. влага – лимитирующий фактор. Коэффициент корреляции $r = -0,5908$. В этот период урожай формировался при относительно слабом лимите со стороны социально-экономической сферы, агротехника в целом была удовлетворительной, вносились удобрения, технические возможности сельского хозяйства также были в целом удовлетворительными. В первом лимите пребывали природные условия, особенно влагоресурсы. В стагнаци-

онный период первенство по лимитированию урожая переходит в социально-экономическую сферу, о чем свидетельствует сбой в связи урожайность-солнечная активность. Урожайность безразлична к колебаниям солнечной активности, и однообразно находится в пикé, и о независимости двух переменных свидетельствует очень низкий коэффициент корреляции $r = -0,0300$.

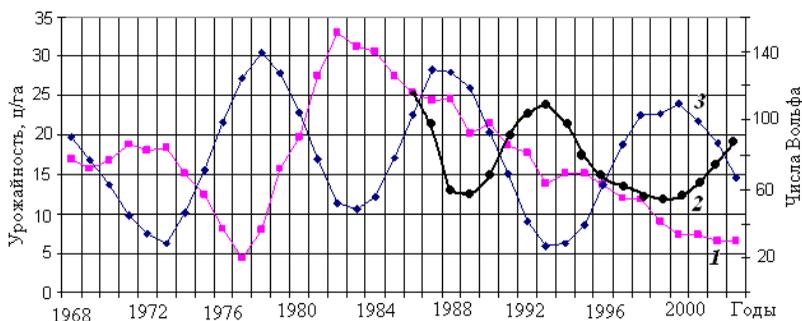


Рис. 9. Динамика урожайности и солнечной активности в числах Вольфа (сглаженные ряды с шагом в 5 лет). 1 – фактическая урожайность, 2 – расчетная урожайность, 3 – числа Вольфа

Зависимость урожайности от чисел Вольфа в предстагнационный период, когда она формировалась в функции от погодных условий и биологических возможностей культуры описывается моделью $Y = 26,784 - 0,125X$. Используя эту зависимость, проведено математическое моделирование урожайности при условии, что если хозяйственно-экономический комплекс сохранился бы на уровне предстагнационного этапа. По расчетной кривой 2 (см. рис. 9), видно, что урожайность пшеницы была бы выше, особенно в последние годы.

Выявлена прямая положительная зависимость величины урожая от количества осадков (табл. 4). Наиболее тесная связь прослеживается между величиной урожая и суммой осадков за период с момента уборки урожая прошлого года до уборки урожая нынешнего года. Этот показатель превышает коэффициент корреляции между урожаем и суммой осадков за текущий год. И, действительно, осадки текущего календарного года, выпавшие после уборки урожая, не могут иметь влияния на его величину. В то же время осадки предшествующей осени и зимы создают необходимые влагозапасы в почве и способствуют повышению величины урожая.

Между урожайностью и суммами осадков за вторую и третью декаду мая прослеживается слабая положительная связь, что связано, вероятно, с небольшим количеством осадков в этот период и, соответственно невозможностью их существенного накопления в почве в предпосевной период.

Таблица 4

Корреляционно-регрессионные связи урожайности (y)

и количества осадков (x)

Метеорологический показатель	корреляция r	уравнение регрессии
сумма осадков за год	r = 0,6225	y = -1,3452 + 0,0765x
сумма осадков за лето	r = 0,5904	y = 2,8443 + 0,0906x
сумма осадков за июнь	r = 0,5742	y = 8,9063 + 0,2447x
сумма осадков за период от уборки урожая предыдущего года до уборки урожая текущего года	r = 0,6527	y = - 2,9627 + 0,0840x
сумма осадков за 3 декаду июня	r = 0,4237	y = 13,846 + 0,2187x

Поскольку урожай, его величина и качество являются результатом комплекса факторов, в том числе и метеорологических, то для наиболее достоверного прогноза необходимо исследовать влияние комплексных метеорологических показателей. Одним из таких показателей является ГТК (гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова).

ГТК – это комплексный показатель, который связывает тепло- и влагообеспеченность вегетационного периода. Связь между комплексным метеорологическим показателем и количеством урожая может служить основой прогноза урожайности в начале вегетационного период и позволит рационально планировать дальнейшие агротехнические мероприятия.

Расчет ГТК проводился по формуле:

$$ГТК = \sum t > 10^{\circ}C \cdot 0,1R,$$

где $\sum t > 10^{\circ}C$ - сумма активных температур выше $10^{\circ}C$, R – количество осадков за тот же период.

Установлена достаточно плотная связь урожайности с ГТК для периода от посевов до всходов (табл. 5).

Таблица 5

Корреляционно-регрессионные связи урожайности (Y) с ГТК (X)

Метеорологический показатель	r	уравнение регрессии
ГТК периода от посева до уборки урожая	r = 0,6538	y = 0,3838 + 16,492x
ГТК за июнь	r = 0,6394	y = 8,4889 + 12,141x
ГТК периода между датами перехода через $10^{\circ}C$	r = 0,5583	y = - 0,5839 + 19,786x
ГТК 3-й декады июня	r = 0,4401	y = 16,888 + 3,3641x

Связь между урожайностью и ГТК в третьей декаде июня, т.е. в наиболее важный период для развития яровой пшеницы, ниже, чем связь урожайности и ГТК за весь июнь. Это может свидетельствовать о том, что осадки конца июня не могут восполнить потери урожая при неблагоприятных усло-

виях 1-3 июня, когда растения находятся в тех фенологических фазах, которые наиболее требовательны к воде.

Разработана трехфакторная модель урожайности: $y = -0,621 + 0,241x_1 + 0,129x_2$, где x_1 – сумма осадков в период от уборки предыдущего года до посева в текущем году, x_2 – ГТК за июнь. Коэффициент множественной корреляции $R = 0,535$, который указывает на то, что можно надежно прогнозировать до 28% годослучаев ($R^2 = 0,285$). Проверочные расчеты показывают, что уравнение не отличаясь большой точностью, может очень надежно предсказывать, какова будет урожайность в терминах «низкая», «средняя», «выше средней».

3.Ландшафтно-микrokлиматическое картографирование обнаруживает пространственную неоднородность подстилающей поверхности по ресурсам влаги и тепла.

Наряду с вскрытыми выше закономерностями временной динамики климата, его элементы имеют ярко выраженную динамику по еще одной координате – пространственной. Среди известных разномасштабных в пространстве изменений климата особое значение имеет микrokлиматическая изменчивость. Микrokлиматические ресурсы территории до сих пор используются неполно, и в этом отношении микrokлимат служит резервом для роста продуктивности сельского хозяйства. Так, только стандартная агрометеорологическая служба путем информационного обеспечения способствует снижению потерь урожая от неблагоприятных явлений на 20-30%.

Микrokлиматические контрасты сугубо индивидуальны для каждого локального участка и зависят от гранулометрического состава и увлажнения почв, характера растительного покрова, агротехнических и агромелиоративных мероприятий, а в расчлененном рельефе – от экспозиции, угла наклона подстилающей поверхности и других факторов, создающих топологические неоднородности.

Ландшафтные исследования в Западном Забайкалье проводились рядом исследователей (Типы местности, 1959; Решиков, 1961; Фадеева, 1963; Предбайкалье и Забайкалье, 1965; Ландшафты юга Восточной Сибири, 1977; Михеев, 1988, 1992; Дамбиев, 1991; Иметхенов, 1997; Мельник, 1999; Сымпилова и др., 2003 и др.). Труды ученых-ландшафтоведов приведены в известность структурно-функциональные особенности геосистем Западного Забайкалья.

Тапхарская депрессия по происхождению относится к котловинам забайкальского типа и включает в себя ряд вложенных мелких депрессий и впадин, разной степени дренированности вплоть до бессточных. В свою очередь, котловина является составной частью Убукуно-Иволгинской цепи котловин. Рельеф депрессии увалисто-волнистый, в осевой части он разнообразится древними ложбинами стока и долинами пересыхающих водотоков, широко развита овражно-эрозионная сеть.

Составлена ландшафтная карта Тапхарской депрессии М. 1 : 25000. Легенда к ней содержит 12 ландшафтных урочищ. Наибольшее распространение имеют склоновые каменистые сухостепные мелкодерновинные на горных маломощных каштановых почвах и пологонаклонные равнинные сухостепные твердогоосоковые поlyingно-разнотравные на среднемощных каштановых почвах мучнистокарбонатных почвах урочища. В подножии Ганзуринского хребта также довольно широко распространены наклонные предгорные сухостепные поlyingно-злаково-разнотравные на маломощных каштановых почвах урочища. Наличие мелкодолинных овражно-балочных и ложбинных древнего и современного неустойчивого стока мелкодерновинных разнотравно-злаковых урочищ свидетельствует о развитии неблагоприятных эрозийных явлений.

На формирование ландшафтов повлияли такие факторы микроклимата как котловинный эффект, проявляющийся на фоне экспозиционного эффекта, на которые наложены законы зональности и высотной поясности.

Микроклиматические исследования в Западном Забайкалье, равно как в Бурятии и Забайкалье, проведены только фрагментарно. По региону известны работы А.П. Волошиной (1962), Н.А. Мячковой (1962). Н.Б. Бадмаев и др. (1996) изучили теплообеспеченность склоновых земель одной из сопки Еравнинской котловины. Исследованиями А.И. Куликова и др. (1997) установлены основные закономерности радиационного режима, перераспределения физических, физико-химических свойств почв и формирования ресурсов влаги и тепла на склонах разной экспозиции, при этом установлены топоэкологические коэффициенты контрастности склоновых ландшафтов.

В дневные часы температура почвы на глубине 0,2 м стабильно выше на 2-3°C на склоне южной экспозиции по сравнению со склонами северной экспозиции. В ночные часы нередко происходит пространственная инверсия и северные склоны оказываются более теплыми на 0,5-0,7°C. На фоне общей очень низкой влажности почвы (2-9% от массы) инсолируемые склоны больше иссушены в среднем на 1-1,5%. Наименьшая влажность характерна для маломощной сильно хрящевой почвы вершины увала.

Составлена карта микроклимата Тапхарской депрессии. Выделено 9 микроклиматических участков, различающиеся по параметрам (табл. 6). Самые теплые сильно аридизированные склоны в виду инсолируемых позиций обеспечены энергией фотосинтетически активной радиации (ФАР) на 7 млн. МДж/га больше, чем фоновый участок. При этом они на территории депрессии наиболее континентальны, т.к. в ночные часы сильно выхолаживаются в виду выпуклости теплоотдающей поверхности, а днем сильно нагреваются, о чем свидетельствуют знаки разностей экстремальных температур воздуха (t_{min}° и t_{max}°). Почвы инсолируемых участков лучше прогреваются, на глубине

0,2 м температура ($t_{0,2}$) выше, чем на фоновом на 4,5°C. Влагозапас в слое 0-0,5 м ($W_{0-0,5}$) меньше, чем в почвах фонового участка на 40 мм, что объясняется тепловым режимом и повышенными возможностями испарения влаги. В Иволгинской котловине потенциально может испариться более 600 мм воды, а на склонах южной экспозиции испаряемость (E_o) еще выше на 200 мм. Вследствие указанных причин период с температурой выше 5°C ($t > 5^\circ\text{C}$) на этих склонах увеличивается на 30 дней

Таблица 6

Микроклиматическая характеристика Тапхарской депрессии (май-сентябрь)

Микроклиматические участки	$\Delta\text{ФАР} \cdot 10^5$, МДж/га	Δt_{min}^6 , °C	Δt_{max}^6 , °C	$\Delta t_{0,2}$, °C	$\Delta W_{0-0,5}$, мм	ΔE_o , мм	$\Delta \tau$ ($t > 5^\circ\text{C}$), дни
1. Самые теплые очень засушливые	70	-2	4,5	3,5	-40	200	30
2. Самые теплые сухие	40	-1	3	2,5	-30	100	20
3. Теплые засушливые*	140	5,6	21,2	14,7	60	620	148
4. Теплые умеренно засушливые	0 ... -5	-1	0	-1,5	25	-50	-10
5. Умеренно теплые умеренно увлажненные	-25	2,5	-3	-2	25	-50	-5
6. Прохладные умеренно увлажненные	-30	0	-5	-2	70	-100	-15
7. Прохладные влажные	-40	0,5	-10	-7	>100	-150	-15
8. Заморозкоопасные замкнутые	-50	-5	-20	-10	100	-250	-20
9. «Фитоклимат стволов»	< 8-15 раз	-5	-10	-7	10	-100	-20

* Фоновые участки, т.е. открытые выровненные места, параметры которых приняты за микроклиматическую норму, приведены абсолютные значения параметров

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Многолетняя изменчивость среднегодовых температур воздуха и сумм годовых осадков находятся в асинхронной связи с цикличностью солнечной активности.

2. Агроклиматическими предпосылками опустынивания являются возрастание радиационного индекса сухости, увеличение числа дней с сильными эрозионно-опасными ветрами и количества дней с суховеями, повышение среднегодовой температуры воздуха, сумм положительных и отрицательных температур воздуха, сезонных температур и длительности сезонов.

3. Годовая сумма атмосферных осадков за период с 1935 по 2003 гг. изменяется со слабоположительным (+4) трендом, при этом прослеживается последовательный рост межгодовой изменчивости, стандартное отклонение увеличивается от $\sigma = \pm 32,2$ до $\sigma = \pm 65-83$ мм, при среднемноголетней норме осадков 256 мм.

4. Расчетами в динамике атмосферных осадков тенденций и их совпадений с годами солнечных реперов и пика солнечной активности получены прогнозы влагообеспеченности вегетационного периода с оправдываемостью 60-80%.

5. Из разработанных уравнений наиболее статистически значимы прямые линейные положительные уравнения, описывающие зависимость урожайности пшеницы от количества осадков и величины ГТК, которые согласно эффекту детерминации надежны для 43% годослучаев, а трехфакторная модель надежно предсказывает ожидаемую урожайность в терминах «низкая», «средняя», «выше средней».

6. За расчетный период наблюдается достаточно строгая асинхронно-сопряженная динамика урожайности и солнечной активности, а выход урожайности из под контроля природной ритмичности и прогрессирующее ее падение связано со стагнацией экономики в 90-е годы XX века.

7. Почвенно-экологический индекс, достаточно чутко отражая пространственную дифференциацию климатического и почвенного потенциала, изменяется (до 70%) по годам, что необходимо учитывать при бонитировке земель.

8. В пределах Гапхарской депрессии картографически выделено 12 ландшафтных урочищ и 9 микроклиматических участков, из которых наибольшими отклонениями от фона (микроклиматической нормы) характеризуются хорошо инсолированные южно экспонированные склоны, где приход и аккумуляция тепла максимальны, а влагоресурсы находятся в остром дефиците. Эколого-микроклиматологическими антиподами выступают лесные урочища, особенно северных склонов и участки замкнутых бессточных западин.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Амшеев Р.М., Куликов А.И., Смирнова И.И. О тенденциях изменения климата г. Улан-Удэ за последние 30 лет // Материалы научно-практической конференции, посвященной 50-летию агрономического факультета БГСХА. Улан-Удэ: Изд-во БГСХА, 2002. – С. 13-16
2. Куликов А.И., Куликов М.А., Смирнова И.И. О глубине протаивания почв при изменениях климата // Вестник БГСХА. Вып. IV, сер. «Природообустройство и кадастры». – 2008.-С.121-123.
3. Куликов А.И., Куликов М.А., Смирнова И.И. О проблеме водного дефицита // Вестник БГСХА. Вып. IV, 2008.- С.151-152.
4. Смирнова И.И. Об изменениях климата степной зоны Республики Бурятия за последние 50 лет // Научное обеспечение устойчивого развития АПК в Сибири: мат-лы конф. молодых ученых Сибирского федерального округа (7-11 июля 2004 г.). – Улан-Удэ: Изд-во БГСХА, 2004. – С. 68-69.
5. Смирнова И.И. Прогноз обеспеченности осадками степных ландшафтов Республики Бурятия // Инновационное развитие аграрного производства в Сибири: сб. мат-лов III конференции молодых ученых вузов «Агрообразования» Сибирского федерального округа; 25-27 мая, 2005, КГСХИ. – Кемерово: АНО ИПЦ «Перспектива», 2005. – том 2, С. 80-83.
6. Куликов А.И., Смирнова И.И.. О тенденциях увлажнения степной зоны Байкальского региона // Устойчивое землепользование в экстремальных условиях: мат-лы междунар. науч.-практ. конф. (26-28 ноября 2003). – Улан-Удэ: Изд-во БГСХА, 2003. – С. 42-43
7. Убугунов Л.Л., Куликов А.И., Смирнова И.И., Мангатаев А.Ц. Региональные особенности опустынивания экосистем Забайкалья и подходы к оценке их устойчивости // Глобальные и региональные особенности трансформации экосистем Байкальского региона: мат-лы симпозиума. – Улан-Батор, 2008. – С. 198-203.
8. Куликов А.И., Куликов М.А., Смирнова И.И. Термическое состояние деятельного слоя в криолитозоне Байкальского региона в контексте глобального потепления // Изменение климата Центральной Азии: социально-экономические и экологические последствия: мат-лы междунар. симпозиума. – Чита, 2008. - С. 171-178.
9. Смирнова И.И, Малханова Е.В. Микроклиматическое картирование местности Тапхар Иволгинского района республики Бурятия // Экология-2011: мат-лы IV междунар. молодежной науч. конф. Архангельск, 2011 – С.68-70.

Подписано в печать 25.11.2011. Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,3. Тираж 100. Заказ № 71.

Отпечатано в типографии Изд-ва БНЦ СО РАН
670047 г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой 6.