

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. И. АРАБАЕВА
ОШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Диссертационный Совет 25.15.515

На правах рукописи

УДК 551.482.214 (575.2) (043.3)

ЖЕКСЕНБАЕВА АЛИЯ КАЖИБЕКОВНА

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕЖИМА ОСАДКОВ
ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА**

Специальность: 25.00.36 - «Геоэкология»

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:

доктор географических наук, профессор

Чодураев Темирбек Макешович

Бишкек – 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД	11
1.1 Анализ изученности проблемы	11
1.2 Общая характеристика исходных материалов и методика наблюдений	18
1.3 Краткая физико-географическая характеристика района	20
1.4 Климатическая характеристика Северного Казахстана	23
2 ДИНАМИКА КЛИМАТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ОСАДКОВ В ТЕЧЕНИЕ XX ВЕКА В ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД	30
2.1 Факторы, влияющие на климатические колебания осадков	30
2.2 Повторяемость избыточно влажных и сухих периодов	34
2.3 Макроциркуляционные условия влажных и сухих периодов	36
2.4 Синоптические условия выпадения обильных осадков	42
3 СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСАДКОВ. ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА В ОСАДКАХ	63
3.1 Статистические характеристики осадков	64
3.1.1 Метод анализа	64
3.1.2 Результаты анализа	67
3.2 Загрязняющие вещества в осадках, как источник влияния на почвы и растительность	81
3.3 Влияние режима осадков и химического состава на урожайность зерновых культур	92
4 ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ	103
4.1 Вариации температуры и осадков	105

4.2 Результаты гармонического анализа температуры и осадков	107
4.3 Факторы, определяющие успешность климатического прогноза	113
4.4. Климатический прогноз	117
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	125
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	129
ПРИЛОЖЕНИЕ Обобщенные статистические характеристики пространственного и временного распределения декадных осадков	140

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

W - западная форма циркуляции

Ш – широтная форма циркуляции

E – меридиональная форма циркуляции

C - меридиональная форма циркуляции

САК - Североатлантическое колебание

I_{NAO} – количественное выражение (индекс) Североатлантического колебания

ВМО - Всемирная метеорологическая организация

Q – сумма осадков

ЕТР - Европейская территория России

ВФЗ - высотная фронтальная зона

ПВФЗ - планетарная высотная фронтальная зона

ХФО – холодное фронтальное образование

АТ850, АТ700 и АТ500 - карты абсолютной барической топографии разных уровней

OT_{1000}^{500} - карта погоды относительной барической топографии

СГВ - среднее гринвичское время

A - коэффициент асимметрии

Э - коэффициент эксцесса

Me - медиана

Mo – мода

abs (max) – абсолютный максимум

abs (min) – абсолютный минимум

МГЭИК - Межправительственная группа экспертов по изменению климата

CRU TS 2.1 - база данных климата, архив разработан и поддерживается Тиндал центром в университете Восточной Англии, Великобритании

ЗВ – загрязняющие вещества

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Сельское хозяйство является одной из ключевых отраслей экономики Казахстана. По производству зерна Казахстан занимает третье место в СНГ после России и Украины.

Развитие сельского хозяйства РК осуществляется благодаря последовательной реализации Государственной агропродовольственной программы, Программы устойчивого развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2009-2011 годы, Программы по развитию агропромышленного комплекса в Республике Казахстан на 2010-2014 годы [1, 2].

Развитие аграрного сектора в Казахстане является одной из важнейших стратегических задач. Так, в Послании народу Казахстана «Казахстан-2050: Новый политический курс состоявшегося государства» Глава государства особо обращает внимание на модернизацию агропромышленного комплекса в условиях растущего глобального спроса на сельхозпродукцию [3]. Основной целью агропромышленного комплекса является обеспечение до 80 % внутреннего рынка собственным продовольствием и отечественными продуктами. Это всё свидетельствует о том, что направляемые на разработку теоретических аспектов совершенствования системы управления развитием аграрной отрасли в целом и повышение на этой основе его эффективности весьма актуальны.

Северный Казахстан является основным земледельческим регионом Республики, обеспечивая продовольственную независимость и безопасность. Поэтому проблема изменения климата, и то, как эти изменения могут повлиять на сельскохозяйственное производство в регионе, является на сегодняшний день актуальной и важной. В рамках задачи реализации продовольственной программы продовольственной безопасности одной из важнейших задач является оценка динамики климатических изменений в регионе на ближайшие десятилетия, особенно в вегетационный период, и то, как эти изменения

повлияют на сельскохозяйственное производство. Знание ожидаемых изменений позволит выработать оптимальную стратегию по адаптации отрасли к новым климатическим условиям, сведя к минимуму возможные убытки.

Из климатических изменений наиболее значимы для сельскохозяйственной отрасли изменение средних месячных температур, среднего количества осадков, особенно в вегетационный период, а также возможные изменения характеристик почвы, обусловленное совместным действием загрязняющих веществ антропогенного происхождения, поступающих в атмосферу, а затем выпадающих на почву с осадками. Из-за недостатка осадков, весь регион Северного Казахстана относится к зоне рискованного земледелия, где из каждых пяти лет только три являются урожайными. Естественно поэтому в данной работе были рассмотрены геоэкологические аспекты режима осадков в Северном Казахстане в вегетационный период.

Связь темы диссертации с крупными научными программами.

Исследуемая работа выполнена в соответствии с основными научно-исследовательскими темами, выполняемыми на кафедре метеорологии и гидрологии факультета географии и природопользования Казахского Национального Университета имени аль-Фараби. Автор принимала участие в научных исследованиях по программе фундаментальных научных исследований МОН РК №0370/ГФ на тему «Научные основы оптимизации использования природных ресурсов и обеспечения устойчивого развития в условиях изменения климата», выполнившейся в 2011-2014 гг. на кафедре метеорологии и гидрологии. Результаты работы опубликованы в рекомендуемых ВАК Казахстана и НАК Кыргызстана научных изданиях, докладывались на семинарах кафедры и на международных конференциях.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы - оценка режима атмосферных осадков в вегетационный период и рассмотрение геоэкологических аспектов, в связи с ожидаемыми климатическими изменениями в Северном Казахстане, как основу для адаптационных

мероприятий с целью обеспечения устойчивого производства сельскохозяйственной продукции в регионе, в первую очередь зерна.

В задачи диссертации входило решение следующих вопросов:

- определить динамику климатических колебаний осадков в течение XX века в Северном Казахстане в вегетационный период;
- получить статистические характеристики временного и пространственного распределения осадков по рассматриваемой территории в вегетационный период;
- оценить влияние антропогенных выбросов, содержащихся в осадках, на кислотность и потенциал почв региона и на урожайность сельскохозяйственных культур;
- оценить современные климатические тенденции в регионе и построить ожидаемые сценарии климатических изменений температуры и осадков на период до 2050 г., как основу для возможной адаптации.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что для территории Северного Казахстана применительно к земледелию в регионе в условиях изменения климата и антропогенных воздействий *впервые*:

- Определена динамика климатических колебаний количества осадков в течение XX века в регионе. В результате чего выявлено, что начиная с 1980 г. количество осадков в регионе возрастало в основном за счет зимних осадков. Климатическое увеличение летних осадков находилось в пределах 2–30 мм. Получено, что в период увеличения повторяемости макропроцессов формы Ш и уменьшение – формы С, отмечался рост количества осадков.
- Проведен корреляционный анализ между аномалиями осадков и индексами NAO, а также проведена типизация синоптических процессов, при значительных осадках. В результате выявлено, что наибольшее влияние индексов NAO ощущается зимой; значительные осадки чаще наблюдаются при прохождении холодных фронтов западных и северно-западных вторжений.
- Проанализированы статистические характеристики декадных осадков,

установлено, что наибольшие экстремумы статистических характеристик осадков наблюдаются в районе Кокшетау, что представляется возможным использовать при долгосрочном прогнозировании.

- Оценено влияние антропогенных выбросов, содержащиеся в осадках, построены карты пространственного распределения загрязняющих веществ и получено, что в регионе условия для закисления почв не наблюдается.

- Построен сценарий изменения климата и выявлено, что температура в регионе будет понижаться к 2050 году примерно на 2 °С. В ходе осадков климатический максимум имеет место в настоящее время, а второй и ожидается в тридцатые годы XXI века с минимумом в двадцатые годы. Отклонения от нормы не превысят ± 20 мм.

Практическая значимость полученных результатов.

Зоны рискованного земледелия особенно чувствительны к изменению климата, поскольку системы окружающей среды находятся в неустойчивом равновесии и небольшие, но продолжительные изменения количества осадков или рост температуры могут привести к необратимым последствиям. Понятно поэтому, что анализ возможных изменений климата в регионе Северного Казахстана имеет не только научный, но и практический интерес.

Результаты исследования режима атмосферных осадков, и синоптических условий их выпадения могут служить основой для разработки методов прогноза таких осадков и последующего прогноза урожайности в регионе, что имело бы значительный экономический эффект.

Полученные данные по воздействию загрязняющих веществ антропогенного происхождения, содержащиеся в осадках, на растительность и почвы позволяют судить о степени опасности такого воздействия и являются основой для рационального использования земледелия.

Результаты исследования могут быть использованы при агроклиматическом прогнозировании для региона, прогнозе урожайности сельскохозяйственных культур.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Динамика климатических колебаний осадков в регионе в течение XX века. Повторяемость сухих и влажных периодов, и их связь с климатическими колебаниями.

2. Результаты анализа макросиноптических процессов и условия, при которых имеют место случаи повышенного и пониженного увлажнения. Результаты типизации синоптических процессов, при которых имели место значительные количества осадков.

3. Пространственно-временное распределение и статистические характеристики декадных осадков.

4. Загрязняющие вещества антропогенного происхождения, содержащиеся в осадках и их влияние на урожайность зерновых культур.

5. Сценарии климатического изменения температуры и осадков в регионе на период до 2050 года.

Методика исследований и достоверность результатов.

Диссертация выполнена на материалах метеорологических станций Северного Казахстана в основном за период наблюдений с 1936 по 2013 гг., а в необходимых случаях за период с 1901 г. по настоящее время.

Первичные исходные материалы наблюдений анализировались с использованием современных статистических, климатических, аэросиноптических методов (приземных карт погоды, карт барической топографии), метода гармонического анализа временных рядов и на основе колебаний общей циркуляции атмосферы. На всех этапах исследования широко применялся метод сравнительного анализа получаемых данных с результатами публикаций различных авторов.

Личный вклад соискателя заключается в следующем:

- в сборе, анализе и обработке данных временных рядов осадков;
- в обобщении собранных материалов и научном обосновании полученных результатов;

- в подборе синоптических ситуаций и выполнении аэросиноптического анализа карт погоды и установлении макросиноптических условий выпадений обильных осадков;

- в построении и анализе сценариев ожидаемого изменения осадков и температуры до 2050 года.

Апробация результатов исследований.

Основные результаты работы нашли свое отражение в 14 печатных изданиях, рекомендованных ВАК МОН РК и НАК КР, а также докладывались на республиканских и международных конференциях: «VII Жандаевские чтения», «Мир науки» (Алматы, 2013); «Проблемы совершенствования управления природными и социально-экономическими процессами на современном этапе» (Бишкек, 2013); «Центральная Азия в исследованиях XIX–XXI вв.» (Бишкек, Каракол, 2014); Материалы летней конференции Международной академии КОНКОРД Bulletin d'EUROTALENT-FIDJIP (Франция, 2014); посвящённой 75-летию д.г.н., проф. Чередниченко В.С. (Алматы, 2015); «Современные проблемы биотехнологии: от лабораторных исследований к производству» (Алматы, 2016); «Проблемы совершенствования управления природными и социально-экономическими процессами на современном этапе» (Кыргызстан, Кара-Ой, 2016) и т.д.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.

Основные результаты работы проведённых исследований отражены в 14 статьях, из них - 7 единоличных, опубликованных в различных периодических изданиях, 1 - в зарубежных изданиях, 4 из которых опубликованы в рецензируемых изданиях.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка использованной литературы, включающего 106 наименований. Общий объем работы 150 стр. машинописного текста, включая 39 таблиц, 37 рисунков и 19 приложений.

ГЛАВА 1 МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД

1.1 Анализ изученности проблемы

Изучение режима многолетних колебаний атмосферных осадков представляет собой одну из важнейших проблем. Атмосферные осадки, как и другие элементы климата, испытывают значительные пространственные и временные изменения. Изменчивость средних и аномальных величин связана с физико-географическими особенностями, временем года и с особенностями атмосферной циркуляции. Эти факторы, действуя в тесной взаимосвязи, определяют условия распределения осадков в пространстве и во времени, как в течение года, так и от года к году, а последние десятилетия и на кислотно-щелочной баланс почвы. Исследованию режима многолетних колебаний глобальных полей температуры воздуха, осадков посвящено большое число работ [4-10].

Осадки относятся к категории явлений, которые могут влиять как положительно, так и отрицательно. Дожди, при которых за сутки выпадают 30 мм осадков и более, относятся к обильным, и являются опасными для хозяйственной деятельности [11-13]. С одной стороны выпадение осадков большой интенсивности приводит к смыву почвы и повреждению искусственных сооружений, в некоторых районах дождевые паводки сопровождаются затоплением населенных пунктов. Длительные и интенсивные осадки затрудняют проведение сельскохозяйственных и строительных работ, движение автотранспорта, авиации и т.д. А с другой стороны обильные осадки способствуют значительному увлажнению почвы, что благоприятно действует на жизнедеятельность растений.

Исследованию условий формирования и выпадения осадков по территории Казахстана посвящено много работ [14, 15, 16, 17-20].

Значительные осадки на юге и юго-востоке республики изучались Р.С. Голубовым [15], на севере Казахстана А.А. Серебряковой и Е.В. Гребенюк [16]. При синоптическом анализе в основном пользуются типизацией макросиноптических процессов, разработанной ташкентскими исследователями для региона Средней Азии и Казахстана [21], которая в дальнейшем постоянно совершенствовалась.

В последние десятилетия проблема обострилась в связи с глобальным потеплением, обусловленным, как считает большинство ученых, интенсивными выбросами парниковых газов в атмосферу. Зоны рискованного земледелия при этом оказываются наиболее чувствительными к таким изменениям, поскольку нет запаса устойчивости. Поэтому кроме статистического анализа рядов осадков за июль-октябрь 1936-1992 гг. [22], позволившего лучше понять их внутреннюю структуру, что важно для среднесрочных прогнозов, была изучена динамика осадков [23-26] в регионе, включая период уборки урожая, за период с 1936 по 2008 гг.

Другой проблемой, является закисление почв, которая обусловлена антропогенными выбросами. Основным веществом, приводящим к такому явлению, являются оксиды серы, поступающие в атмосферу с выбросами в основном энергетических и горно-металлургических предприятий, а затем выпадающими с осадками в почву. Известно, как повлияли на закисление почвы и водоемов Скандинавии выбросы оксидов серы, поступающие с территории Англии, Германии и выпадающие там с осадками.

В [27] для пяти пунктов наблюдений ЕМЕР на территории бывшего СССР была найдена линейная обратная зависимость между содержанием избыточной сульфатной серы и величиной рН. Физическое объяснение связи очень простое. При отсутствии анионов, способствующих закислению, дождевая вода находится в равновесном состоянии, рН которой равна 5,6. Чем больше сульфатной серы в осадках, тем ниже должна быть рН, т.е. тем кислее осадки. На рисунке 1.1 представлены результаты исследования данной зависимости на многолетних данных, содержащиеся в [28].

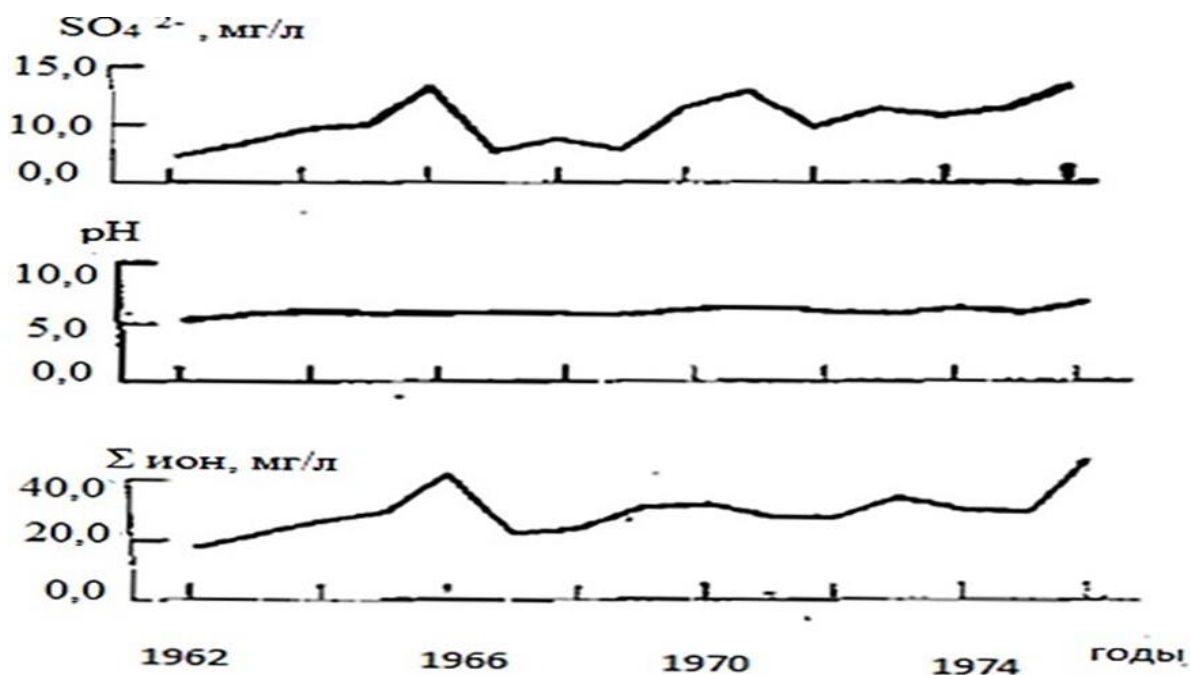


Рис. 1.1 - Многолетние изменения концентрации ионов, величины рН и сульфата серы по [28]. Станция Березино.

Можно видеть, что с ростом содержания серы в течение длительного временного промежутка величина рН тоже несколько возрастает. Вторым важным выводом из данного рисунка является факт, что величина рН практически не реагирует на значительные колебания содержания серы в отдельные годы.

В [28] проанализированы данные о химизме осадков за четырехлетний период на четырех станциях бывшего СССР Воейково, Кемери, Мудьюг, Высокая Дубрава, Каунчи, расположенных вблизи городов Санкт-Петербург, Рига, Архангельск, Свердловск, Ташкент соответственно.

Концентрации ионов колебались в широких пределах от 3,0 до 67,0 мг/л. Однако средние величины были несколько меньше – от 11,0 до 21,0 мг/л. При этом максимальные величины наблюдались вблизи промышленных центров Санкт-Петербурга и Свердловска.

Согласно [29, 30] средние годовые величины концентраций ионов в Иркутске за период с 2000 по 2010 гг. повысились с 20 до 30 мг/л с минимумом в 2005 г. Эти величины близки к нашим средним по региону, но ниже

максимальных средних. Энергетическая и металлургическая промышленность Казахстана и Южного Урала России характеризуются большими объёмами выбросов.

Значительное содержание ионов в осадках предполагает наличие и значительного количества сульфатов серы, поскольку сульфаты, согласно ряду работ [31-36] и нашим исследованиям [37], вносят основной вклад в суммарную минерализацию осадков, около 50 %.

Согласно нашим данным в регионе в течение года содержание ионов в осадках колеблется от 3,0 до 160 мг/л.

Максимальные концентрации ионов имеют место вблизи промышленных центров Павлодара и Караганды, а также в Костанае, который не является крупным промышленным центром, но находится под влиянием выбросов предприятий, расположенных на Южном Урале в России.

Вклад анионов NO_3^- в процессе закисления оказался менее чем 10 %. Это согласуется с данными [28] др. в то же время согласно [29] в районе Южного Байкала концентрации NO_3^- по крайней мере в два раза выше чем в рассматриваемом регионе и по России согласно данным [27, 28]. Выполненный в [36] анализ распределения NO_3^- по территории всего Казахстана тоже не показал нигде таких высоких концентраций. Источник выбросов в районе Южного Байкала, таким образом, специфический.

На важную роль нейтрализующих катионов в процессе закисления отмечается в [28, 32-35] и др. работах. Связь, однако, между сульфатом серы или серой в осадках и кислотностью осадков не очевидна. Автор [27] нашёл для шести станций ЕМЕР обратную линейную связь между концентрациями «избыточной» сульфатной серы и кислотностью осадков. Более того, в работе говорится, что «величина угла наклона проявляется тем отчётливее, чем ниже средневзвешенное значение рН осадков», т.е. чувствительность рН к изменению концентраций сульфатной серы велика. Однако, в [28] на основе анализа данных четырёх станций, расположенных в разных регионах страны за двенадцатилетний период (1962-1974 гг.) такой связи не получено. Выше (рис.

31.1) был приведен результат такой связи по одной из станций, полученный в [28].

Из рисунка 1.1 мы видим, что с ростом сульфатной серы рН осадков не только не понижается, но даже несколько возрастает. Вторым важным на наш взгляд выводом из этого рисунка является факт, что на имевшие место существенные колебания содержания сульфатной серы на изучаемом временном интервале величина рН по сути не реагировала.

Аналогичные данные получены авторами [28] и для других станций, данные которых они проанализировали.

В [38] на новейшем материале аналогичные исследования выполнены для региона российской Арктики, и авторы получили следующее: «Статистический регрессионный анализ показал отсутствие корреляции между средними по региону потоками серы и показателем рН в снежном покрове....».

В дальнейшем в работе рассмотрены режим атмосферных осадков, их прогноз на ближайшие десятилетия.

В последние 30-40 лет проблема изменения климата в научном сообществе считается важнейшей задачей. Несмотря на это, в Казахстане этой проблеме уделялось мало внимания. В зарубежных исследованиях, (включая МГЭИК), о динамике климата этой территории сказано немного. Вместе с тем земледелие Республики, обеспечивающее ей продовольственную безопасность, относится к зоне рискованного. Проблема изменения климата, поэтому имеет важную практическую направленность.

В работе [39] показано, однако, что при небольшой густоте сети, характерной для территории Казахстана, среднегодовые температуры воздуха по данным архива, проинтерполированные на координаты станции могут отличаться от климатических характеристик [40] на величину до 2,8 °С. Это заметно превышает величину глобального потепления, отмечаемого во второй половине двадцатого века.

По данным [39] ошибки в величине годового количества осадков часто превышают 100 мм.

На наличие существенных погрешностей в воспроизведении температуры и осадков по данным архива CRU TS 2.1, а также некоторых других архивов, указывается в [41].

Авторы этой работы считают, что причина может заключаться в недостаточно густой наблюдательной сети России, а возможно также несовершенство алгоритмов, по которым те архивы создавались.

Имеется, кроме того, большое число моделей, существенно обновленных в последние годы, по которым возможно воспроизведение современного климата, т.е. климата последних десятилетий с 1961 по 2002 г., на основе наблюдений в течение двадцатого века. Однако исследования Г.В. Груза и соавторов [42] показали, что все современные модели воспроизводят современный климат с большой неопределенностью. Они значительно занижают имевший место в те годы тренд температуры. Заметные ошибки также возникают в отдельные месяцы и в отдельных широтных поясах. При этом завышение температуры возможно на 2-8 °С.

В исследованиях [43], выполненных уже в 2005-2015 гг., а также в [43-48] и др., тоже содержится всесторонний анализ изменения климата на территории Казахстана, а в [44] содержится климатические данные, включая данные аппроксимации и гармонический анализ временных рядов температуры и осадков по 30-45 станциям Казахстана. Упомянутые выше исследования использованы при анализе результатов прогноза, содержащихся в [49].

Для оценки климатических характеристик осадков в [50-54] взят тридцатилетний период с 1951 по 1980 гг. В результате статистической обработки получен ряд характеристик рядов: годовых сумм осадков, среднего квадратического, асимметрии и эксцесса. Рассматриваются эти результаты по Северному Казахстану – региону, по которому имеются данные.

Представляет интерес сравнить исследуемые данные и прогноз изменения климата по территории Казахстана с данными других авторов. Так, в [50,54] на конец XX и начало XXI века вероятностно-статистическими методами прогнозировались изменения температуры и осадков по территории Казахстана

и Средней Азии. Предиктантами были температура и осадки на территории, а предикторами – глобальный коэффициент прозрачности, коэффициент оптической плотности, концентрация углекислого газа, приземная температура воздуха северного полушария и др. Причинно-следственные связи при этом не обсуждались. В работе [45], показано, что и прогноз осадков и прогноз температуры не оправдались. Часть связей была интерпретирована как ложная. В то же время в [55], начиная с 2010 г., отмечалось потепление над югом Сибири. Примерно с этого же времени начали отмечать начало похолодания на северо-востоке Казахстана, а в [45] было показано, что похолодание уже охватило всю территорию Республики.

К настоящему времени начало похолодания отмечается уже многими исследователями. Так, Европейский центр среднесрочных прогнозов в [56] глобальную температуру за последние годы представляет в виде практически горизонтальной линии. Понятно, что в некоторых регионах она может иметь и отрицательный тренд. Согласно данным Гидрометцентра России [57] нулевые тренды средней за последние 10 лет температуры охватили не только юго-запад Сибири, но и большую часть Казахстана. Если бы были взяты температуры только за последние 7-8 лет, то отрицательными трендами были бы охвачены весь Казахстан, как это получено в работе [45].

Из сказанного выше видно, что процесс похолодания охватил значительный регион, и исследуемые результаты хорошо согласуются с результатами других авторов. Следует ли из этого, что земледелию в Северном Казахстане ничего не угрожает? Как отмечено выше, территория относится к зоне рискованного земледелия, два из пяти лет являются неурожайными. Поэтому остаётся проблема адаптации к существующим климатическим условиям. Кроме того, борьба за уменьшение выбросов парниковых газов, даже если они не являются первопричиной потепления, является также борьбой за сокращение выбросов в окружающую среду всевозможных загрязняющих веществ, создающих вторую не менее важную проблему для человечества.

1.2 Общая характеристика исходных материалов и методика наблюдений

В исследуемой работе для статистических оценок использованы длиннорядные данные многолетних наблюдений 5 метеорологических станций: Костанай, Петропавловск, Кокшетау, Астана, и Павлодар за 1936-2008 гг., расположенных в лесостепи и степи.

Гармонический анализ рядов температуры и осадков выполнен на основе наблюдений за весь XX век и по настоящее время.

За этот же период использованы типизации макропроцессов над первым естественным синоптическим районом, содержащиеся в [58].

Анализируются изменения средних многолетних значений по основному периоду наблюдений за 1936-2008 гг. Вопрос осреднения данных с целью получения норм при изучении климата рассматривается во многих работах. До последнего времени, Всемирная метеорологическая организация (ВМО) рекомендовала использовать, как базовый - период 1951-1980 гг., но в связи с возросшей изменчивостью климата, за базовый период стали принимать 1961-1990 гг. [59, 60]. Был проведен сравнительный анализ изменения средних многолетних значений основного периода по отношению к базовому. В связи с усилением глобального потепления климата во второй половине XX века, и особенно в последние два десятилетия (на фоне перелома повторяемости форм циркуляции) анализировалась изменчивость атмосферных осадков в более короткие периоды – 1981-2008 и 1991-2008 гг.

Тенденции многолетних изменений атмосферных осадков были определены путем расчета линейных трендов, и анализа уравнения линейного тренда.

Для выделения месяцев с дефицитом, нормой и избытком осадков использованы критерии Г.В. Леоновой и Т.А. Богдановой [61].

При изучении количественных характеристик циркуляционных процессов была использована типизация М.Х. Байдала за период 1936-2008 гг. [62].

В последнее время все большее внимание уделяется вопросу изменчивости тропосферной циркуляции Северного полушария и влияния переноса над Северной Атлантикой на многолетнюю изменчивость климатических характеристик. Одним из таких процессов является Североатлантическое колебание. В качестве исходных данных использованы ряды среднемесячных значений I_{NAO} [63]. На основе этих данных проведен корреляционный анализ между аномалиями осадков и $I_{NAO}>0$, $I_{NAO}<0$ по месяцам для рассматриваемой территории Северного Казахстана за период 1950-2008 гг. Значимые коэффициенты корреляции между аномалиями осадков и индексом NAO выявлены лишь в отдельные месяцы.

В исследуемой работе были рассмотрены некоторые характеристики обильных осадков, а также синоптические условия, обуславливающие формирование и выпадение этих осадков. Материалом для исследования послужили суточные суммы осадков за вегетационный период с 2003 по 2013 гг., а также карты погоды за этот же период [15, 16, 21].

Пространственно-временное распределение декадного числа суток с осадками и количества осадков было исследовано по 57-летнему ряду наблюдений (1936-1992 гг.) и рассчитаны статистические характеристики.

Оценено влияние антропогенных выбросов, содержащихся в осадках, на кислотно-щелочной потенциал почв региона, сделаны выводы на перспективу. Исходным материалом послужили данные отдела химико-аналитических исследований Национальной гидрометеорологической службы. Были рассмотрены данные за период 2005-2012 гг. по 8 станциям Северного Казахстана.

Отбор проб осадков на химический анализ проводился на станциях с использованием однотипных устройств и по единой методике [64]. В работе были использованы суммарные месячные пробы, включающие все осадки, выпадавшие в течение каждого календарного месяца. Химический анализ всех параметров выполнялся по единой методике в строгом соответствии с документом [65, 66], который является общим не только для стран бывшего

Союза, но и соответствует критериям, принятым в странах Западной Европы [64]. Такой подход позволяет сравнивать данные не только в пределах территории республики, но также с данными на территориях стран – соседей. В соответствии с РД 52.04.186-89 [65], пробы анализируются не позднее, чем через 10 суток после поступления в лабораторию, где определяются следующие макрокомпоненты: значение рН, массовые концентрации макрокомпонентов: хлорид-ионов, нитрат-ионов, гидрокарбонат-ионов, сульфат-ионов, ионов аммония, калия, натрия, магния и кальция и др.

Для прогноза был применен метод гармонического анализа временных рядов температуры и осадков, аппроксимированы ряды полиномом шестой степени, обеспечивающие значительное сглаживание ряда, при котором, сохраняются климатические экстремумы. Сценарии изменения климата были рассмотрены на основе колебаний общей циркуляции атмосферы [67, 68].

1.3 Краткая физико-географическая характеристика района

В данной работе районом исследования является Северный Казахстан, который включает в себя Северо-Казахстанскую, Павлодарскую, Акмолинскую и Костанайскую области (рис. 1.2), (табл. 1.1). Протяженность территории региона с запада на восток составляет 1300 км, а с севера на юг – около 600 км [69, 70].



Рис. 1.2 Территория исследований

Таблица 1.1 Координаты метеорологических станций исследуемой территории

№ станции	Станция	Высота станции, м	Широта	Долгота
1	Костанай	151	53°13' с.ш.	63°37' в.д.
2	Петропавловск	140	54°11' с.ш.	69°23' в.д.
3	Кокшетау	228	53°17' с.ш.	63°37' в.д.
4	Астана	349	51°11' с.ш.	71°24' в.д.
5	Павлодар	120	52°18' с.ш.	76°57' в.д.
6	Щербакты	152	52°29' с.ш.	78°09' в.д.

На севере исследуемая территория граничит с Россией. Его граница расположена в бассейне рек Тобыл, Есиль, Обаган, от южных склонов Уральских гор на западе до равнинных степей Приертисья на востоке. Главные реки – Ертис и его два левых притока, Есиль и Тобыл [69, 70].

На территории Казахстана климат отдельных физико-географических зон существенно различается. Лесостепная и степная зоны в пределах, которых располагается территория Северного Казахстана, представляет большую хозяйственную ценность как основной земледельческий район, ресурсы которого давно и интенсивно используются. На самом севере исследуемой территории, на южной периферии лесостепной и степной зон Западно-Сибирской низменности, и в основном на центральной части Есильской степи располагается Северо-Казахстанская область. Поверхность области равнинная с небольшим уклоном к северу. Вся территория области с юго-запада на северо-восток пересекается долиной р. Есиль, которая является левым притоком р. Ертис. По характеру почв и растительности территория области делится на три части. На севере тянется неширокая лугово-лесная полоса, южнее лежит типичная березовая степь, а на юге преобладают степные пространства [71, 72].

Западная часть Северного Казахстана характеризуется относительно равнинным рельефом. Территория Костанайской области расположена в степной зоне на левом берегу реки Тобыл, занимает юго-западную окраину Западно-Сибирской низменности и большую часть Торгайской столовой

страны. На западе она близко подходит к Южному Уралу, а на востоке - к Казахской складчатой стране. Северо-западная область занята южной лесостепью и разнотравно-ковыльной растительностью на черноземах [73].

На юге исследуемого региона находится Акмолинская область, которая занимает западную окраину Казахской складчатой страны между горами Улытау на юго-западе и Кокшетаускими высотами на севере можно разделить на 3 части: северо-западную — равнинную, юго-западную — равнинную с отдельными холмами, и восточную — возвышенную часть Казахской складчатой страны. Северо-западная часть представляет равнинное плато, расчленённое сухими оврагами и балками. В юго-западной части (южнее р. Есиль) простирается повышенная равнина. На востоке — та часть Казахской складчатой, некогда горной, страны, выровненной процессами разрушения (денудации), в которой сохранился сложный комплекс холмов, гряд и увалов с мягкими очертаниями склонов, называемых здесь сопками (так называемый мелкосопочник). Местами возвышаются небольшие горы. Склоны гор покрыты сосновым лесом с примесью в нижней части лиственных пород. Обычные мелкосопочные поднятия и мелкие сопки возвышаются над окружающей местностью всего на несколько десятков метров. Территория области лежит в основном в зоне степей [73].

Восточная территория исследуемого региона, где расположена Павлодарская область, делится на две части: юго-западную, расположенную в пределах северо-восточной окраины Центрального Казахстанского мелкосопочника (Казахское нагорье), и северо-восточную, приуроченную к Приертисской равнине (окраина Западно-Сибирской низменности). Ниже этих возвышенностей развиты мелкосопочный, гривисто-грядовый и холмисто-увалистый рельеф. Орографические условия Казахского нагорья варьируют от юго-западных (зона г. Кызылтау) до широтных (зона Баянауылских гор) и меридиональных (зона Нияз-Еремен-Тауского поднятия) направлений. Между основными поднятиями этой части территории залегают обширные равнины древних ложбин стока и долины современных рек. Рельеф Приертисской

равнины характеризуется сочетанием обширных платообразных увалов с широкими ложбинами, в пределах которых расположены котловины озер. Почвенно-растительный покров носит комплексный характер. Крайний север области относится к зоне лесостепи. Здесь развиты разнотравно-типчаково-ковыльные степи на южных черноземах и черноземовидных почвах. Южнее лесостепи развиты ковыльно-типчаковые степи с бедным сухолюбивым разнотравьем на слабозасоленных темно-каштановых почвах. На большей части правобережья р. Ертис на темно-каштановых супесчаных почвах простираются типчаково-ковыльные степи. На юго-востоке области в пределы этих степей заходят массивы сосновых боров. Почти на всей площади Приертисской равнинной степи характерны аazonальные комплексы разнотравно-злаковых и солончаковых лугов приозерных низин и долин рек, а также полынные и солянки на солонцах и солончаках [40,69,74].

На исследуемой территории преобладают обыкновенные и южные черноземы, каштановые почвы и их комплексы с другими почвами [71-74].

Северный Казахстан, который находится в лесостепи и степи является главной житницей страны и представляет большую хозяйственную ценность как основной земледельческий район, ресурсы которого давно и интенсивно используются.

1.4 Климатическая характеристика Северного Казахстана

Климат, то есть многолетний статистический режим погоды, является результатом климатообразующих процессов, непрерывно протекающих в атмосфере и деятельном слое [58].

Территория Северного Казахстана в летний период находится под воздействием выноса сухих перегретых тропических масс воздуха из Средней Азии и Центрального Казахстана, а в зимние месяцы наблюдаются вторжения холодных арктических полярных масс воздуха, что определяет континентальные черты климата и характеризуется суровой зимой и умеренным жарким летом [14].

В зимнее время преобладают антициклональные типы погод с господством ясного неба и устойчивыми отрицательными температурами. Ветры имеют отчетливо выраженную юго-западную направленность со средними скоростями около 5,5 м/с. Весна короткая (20-30 дней), сухая и прохладная начинается со второй половины апреля. В летнее время преобладают циклональные типы погоды, с северными и северо-западными ветрами, имеющими средние скорости около 4 м/с. Осень прохладная, пасмурная, нередко дождливая. Продолжительность вегетационного периода, в среднем, составляет 180-200 дней. Амплитуда годовых температур составляет 38 °С (от минус 20 °С зимой до 20 °С летом), среднегодовое количество атмосферных осадков варьирует от 250 до 350 мм, из которых около 50 % выпадают в течение вегетационного периода.

Климат любой территории формируется под действием целого ряда климатообразующих факторов. На формирование климата основное влияние оказывают радиационные и циркуляционные условия, определяющие температурный режим, типы воздушных масс и их движение, развитие фронтальных процессов и атмосферные осадки, соотношение тепла и влаги [14, 58].

Радиационный режим. Энергетическая база всех природных процессов – солнечная радиация, которая также является одним из основных климатообразующих факторов. Величину притока солнечной радиации определяют такие факторы, как: 1) географическая широта местности; 2) прозрачность атмосферы; 3) продолжительность солнечного сияния (табл.1.2).

Таблица 1.2 – Число часов солнечного сияния, часы [75, 76]

Станция	Месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Костанай	85	120	179	229	291	310	300	270	195	120	79	67	2245
Петропавловск	80	124	187	239	289	304	299	240	188	103	73	58	2184
Астана	105	146	182	231	300	329	325	282	234	133	96	89	2452
Павлодар	103	139	198	242	305	329	324	278	231	132	92	86	2459

Из таблицы 1.2 видно, что среднее годовое число часов солнечного сияния, на исследуемой территории Казахстана небольшое (Петропавловск – 2184, Павлодар - 2459 часа). Также можно отметить, что на исследуемой территории максимум солнечного сияния приходится на летние месяцы – июнь и июль.

Количество дней без солнца в Северном Казахстане изменяется в пределах от 46 (Павлодар) до 64 (Петропавловск) дней (табл. 1.3).

Таблица 1.3 – Число дней без солнца [75,76]

Станция	Месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Костанай	10	6	5	2	1	0,6	0,8	0,8	2	7	11	13	59
Петропавловск	10	5	4	3	2	1	0,9	1	3	9	11	14	64
Астана	8	4	4	2	0,8	0,2	0,4	0,7	1	7	9	10	47
Павлодар	8	5	3	2	1	0,3	0,4	0,9	1	6	9	9	46

Наименьшее число дней наблюдается в летний период и колеблется от 0,2 до 1 дня в месяц. Наибольшее же число наблюдается в ноябре и декабре (9-14 дней). Число дней без солнца в годовом ходе увеличивается с юга на север. Так, наименьшее число наблюдается на станции Астана – 47 дней, а наибольшее МС Петропавловск – 64 дня.

Другим климатообразующим фактором является система атмосферной циркуляции, складывающаяся под влиянием общей планетарной циркуляции, местных условий радиации и особенностей подстилающей поверхности [14].

Положение Северного Казахстана в глубине самого большого материка обуславливает резкую континентальность его климата, характерными чертами которого являются продолжительная холодная зима с сильными ветрами и метелями, короткое, но жаркое лето. Также для северного Казахстана весьма характерна частая смена воздушных масс, вызывающих неустойчивость погоды. В холодный период исследуемая территория, находится на северной периферии затропического (азиатского) максимума, что обуславливает

преобладание здесь антициклонального режима, погоды, низкие зимние температуры, малое количество зимних осадков и маломощный, неравномерно залегающий снежный покров. Зимой прохождение западных и ныряющих циклонов, а также выход южных циклонов вызывают повышение температуры, а также усиление ветра, сопровождаемые метелями и снегопадами. В теплый период в связи с усилением циклонической деятельности и при холодных вторжениях на холодных фронтах резко увеличивается количество осадков. Именно циркуляция атмосферы является причиной резких колебаний температур и осадков от года к году [14].

Температура воздуха является одним из важнейших элементов климата, определяющая характер и режим типов погоды. Зима на севере Казахстана продолжительная и холодная, а в некоторые годы суровая, с жестокими морозами, достигающими до минус 45-50 °С. Наряду с этим, зимой, хотя и редко, возможны оттепели, иногда до 5 °С, преимущественно обусловленные выносом теплых масс из Средней Азии. Лето в регионе умеренно жаркое, но сравнительно непродолжительное с возможными повышениями температуры воздуха в отдельные дни до 35-40 °С. Последние весенние заморозки могут иметь место даже в июне, а наиболее ранние осенние в конце августа [14]. Средняя температура в январе составляет минус 17-18 °С, а в июле – 19-22 °С (табл. 1.4).

Таблица 1.4 – Среднемесячная и годовая температура воздуха, °С [77]

Станция	Месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Костанай	-16,1	-15,3	-8,4	5,3	13,5	19,4	20,8	18,0	12,1	3,8	-6,0	-12,7	2,9
Петропавловск	-17,9	-16,6	-10,0	2,8	11,6	17,3	19,2	16,4	10,6	2,1	-8,0	-15,0	1,0
Кокшетау	-15,7	-15,1	-9,0	3,4	12,1	17,8	19,8	17,1	11,4	3,1	-6,8	-13,2	2,1
Астана	-16,8	-16,3	-9,9	3,2	12,8	18,2	20,4	17,8	11,5	2,8	-7,1	-13,9	1,9
Павлодар	-17,1	-16,6	-9,1	4,8	13,4	19,4	21,5	18,4	12,3	3,6	-7,3	-14,1	2,4

Как было указано выше, исследуемая территория в холодный период находится под влиянием северной периферии азиатского максимума, что обуславливает преобладание здесь антициклонального режима погоды, низкие зимние температуры, малое количество зимних осадков и маломощный, неравномерно залегающий снежный покров и ранние осенние заморозки. В то же время редкое прохождение западных и ныряющих циклонов, а также выход южных циклонов вызывают даже зимой повышение температуры до 0 °С, а иногда до 5 °С. Прохождение циклонов обуславливает не только кратковременное потепление, но и усиление ветра, сопровождается метелями и снегопадами. В теплое полугодие нередко имеет место неустойчивая погода, хотя в среднем наблюдается сравнительно высокая температура воздуха (средне июльская 19-22 °С) [14].

Ветер. Режим ветра определяется общей барико-циркуляционной обстановкой и существенно изменяется при переходе от теплой половины года к холодной. В зимнее время характер преобладающих воздушных течений на большей части страны определяется наличием западного отрога сибирского антициклона, ось которого расположена южнее рассматриваемого региона, почти широтно в районе широт 48-50 °с. ш. Поэтому в Северном Казахстане зимой преобладают ветры юго-западных и западных направлений. В теплую часть года особенности ветрового режима в значительной мере определяются формирующейся в это время над Казахстаном слабо выраженной барической депрессией. В связи с этим на севере преобладают северо-западные ветры [14].

На исследуемой территории средние годовые скорости ветра колеблются в пределах 4,3-5,5 м/с (табл. 1.5).

Годовые скорости ветра в лесостепной и степной зонах Северного Казахстана определяются преимущественно большой частотой и активностью в этой части республики циклонических процессов, сопровождающихся осадками, причем часто ливневого характера, особенно в теплое время года [14].

Таблица 1.5 Средняя месячная и годовая скорость ветра, м/с [75,76]

Станция	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Костанай	4,3	4,6	4,9	4,6	4,8	4,3	3,9	3,7	4,0	4,6	4,5	4,5	4,4
Петропавловск	5,7	5,8	6,0	5,6	5,5	4,8	4,2	4,0	4,5	5,4	5,8	5,6	5,2
Кокшетау	5,9	6,0	5,7	5,1	5,5	4,9	4,3	4,3	5,0	6,3	6,5	6,1	5,5
Астана	5,2	5,1	5,4	5,2	5,0	4,4	4,1	4,0	4,1	5,1	5,3	5,1	4,8
Павлодар	4,8	4,8	4,8	4,9	4,9	4,4	3,8	3,7	3,9	4,8	4,9	4,6	4,5

Также из таблицы можно видеть, что на рассматриваемой территории средняя месячная скорость ветра в холодный период года достигает 4–6 м/с. Летом скорость ветра уменьшается. Средняя месячная скорость ветра на исследуемой территории в июне-августе составляет 3–5 м/с.

Атмосферные осадки и снежный покров. Разнообразие климатических и орографических условий Казахстана предопределяет неравномерное распределение осадков по его территории. Внутри степной зоны узкой полосой выделяются районы лесостепи и северные склоны Казахской складчатой страны с годовым количеством осадков 300-400 мм. Эта полоса вытянута примерно с севера на юг и своей центральной частью проходит через Петропавловск, Акмолинск и Каркалинск [40, 69, 70].

В Северном Казахстане в среднем за год выпадает 270-360 мм осадков, из них 60-80 % (191-273 мм) приходится на летний период (рис.1.3).

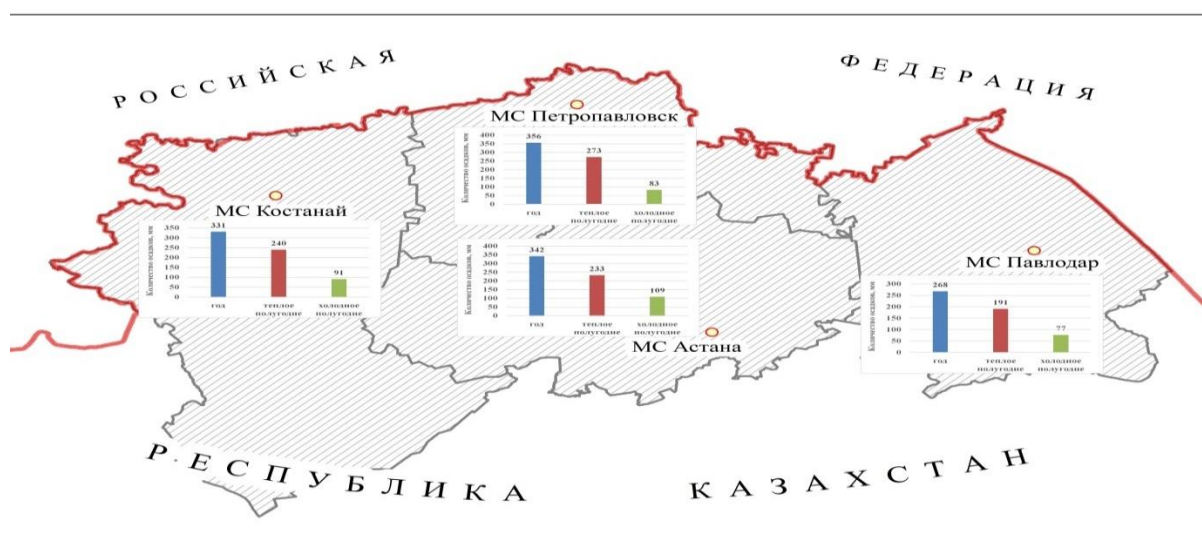


Рис.1.3 Годовые и сезонные суммы осадков (мм) исследуемой территорий

Барико-циркуляционные условия теплого полугодия, благоприятствуют на большей части Казахстана значительному выпадению осадков. Термический контраст взаимодействующих воздушных масс значителен, особенно весной. На фоне высоких температур воздуха сильно возрастает и влагосодержание воздушных масс, дополнительное увлажнение которых происходит за счет испарения влаги с водной поверхности и почвенно-растительного покрова [14]. В холодное полугодие (ноябрь-март) на исследуемой территории количество осадков составляет 60 до 110 мм.

В холодный период года повсеместно преобладают преимущественно вторжения холодных и бедных влагой арктических воздушных масс и воздушных масс умеренных широт континентального происхождения. Благодаря устойчивому снежному покрову и низким температурам воздух за счет испарения с земной поверхности почти не обогащается влагой [14].

В Северном Казахстане устойчивый снежный покров образуется в первой декаде ноября и лежит около 5 месяцев. Максимум высоты снежного покрова и запаса воды в нем формируется, как правило, в конце зимы (март). Высота снежного покрова составляет 25-30 см.

В целом, природные и климатические условия Северного Казахстана достаточно благоприятные для ведения и развития сельскохозяйственных работ. По производственной специализации сельского хозяйства исследуемая территория относится к зоне развитого пшенично-зернового хозяйства.

ГЛАВА 2 ДИНАМИКА КЛИМАТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ОСАДКОВ В ТЕЧЕНИЕ XX ВЕКА В ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД

В последние годы внимание ученых всего мира привлекает растущая повторяемость аномальных природных явлений, таких как наводнения, засуха, избыточно влажные периоды, сильные морозы и др., которые наносят все больший экономический и социальный ущерб обществу.

2.1 Факторы, влияющие на климатические колебания осадков

Одним из факторов, влияющих на режим атмосферных осадков, является Североатлантическое колебание. Понятие Североатлантическое колебание (САК) подразумевает изменение поля давления, и как следствие, интенсивности зонального переноса над внетропической зоной Северной Атлантики. Его количественное выражение – индекс I_{NAO} - определяется как разность нормированных на стандартное отклонение аномалий приземного давления между Исландией (Рейкьявик или Стиккисхоульмюр) и Азорскими островами (Понта-Дельгада) либо югом Пиренейского полуострова (Гибралтар или Лиссабон) [78, 79].

САК является одним из наиболее мощных барических сигналов, воздействующих на атмосферную циркуляцию. Так как подобные вариации поля атмосферного давления обусловлены изменениями потоков тепла и водяного пара, поступающих в атмосферу над различными участками земной поверхности, принято считать, что главной причиной существования САК является взаимодействие с атмосферой различных участков поверхности Северной Атлантики [80]. САК впервые было описано Г.Т. Уолкером и Блиссом в 1933 г. [81]. Ими установлено, что САК управляет интенсивностью геострофического переноса воздушных масс с Северной Атлантики на Европу, а также траекториями движения над ней атлантических циклонов.

Для статистических оценок использованы многолетние колебания годового количества осадков, теплого (апрель-октябрь) и холодного (ноябрь-март) периодов за 1936-2008 гг. Анализируются изменения средних многолетних значений по основному периоду наблюдений за 1936-2008 гг. Вопрос осреднения данных с целью получения норм при изучении климата рассматривается во многих работах [82-85]. При анализе проводился сравнительный анализ изменения средних многолетних значений основного периода по отношению к базовому. В связи с усилением глобального потепления климата во второй половине XX вв., и особенно в последние два десятилетия (на фоне перелома повторяемости форм циркуляции) анализировалась изменчивость атмосферных осадков в более короткие периоды – 1981-2008 и 1991-2008 гг. (табл. 2.1).

Годовые суммы осадков (в результате осреднения за период 1936-2008 гг.) на рассматриваемых станциях (рис. 2.1) изменяются в пределах от 258 мм (ст. Павлодар) до 342 мм (ст. Петропавловск). В их распределении проявляется одна из общегеографических закономерностей – зональность. Наряду с зональностью в пространственной структуре отмечаются региональные особенности, связанные, с одной стороны, преобладающими в регионе синоптическими процессами, а с другой стороны – влиянием местных физико-географических факторов, годовая сумма осадков уменьшается с запада на восток от 327 (Костанай) до 258 мм (Павлодар), что связано с возрастанием континентальности климата в этом направлении. Северные районы республики более подвержены влиянию северо-западных и западных воздушных масс. Годовой ход осадков зависит как от общей циркуляции атмосферы, так и от местных физико-географических условий. Для рассматриваемого региона характерен континентальный тип годового хода осадков, с максимумом летом и минимумом зимой. Так, в пределах большей части северной половины республики (лесостепь и степь) в теплое время года (апрель – октябрь) в среднем выпадает 60-80 % годовой суммы осадков, а в холодное время года только 20-40 % [14, 74].

На рассматриваемых станциях Северного Казахстана (рис. 2.1) в годовом режиме осадков максимум приходится на летние месяцы.

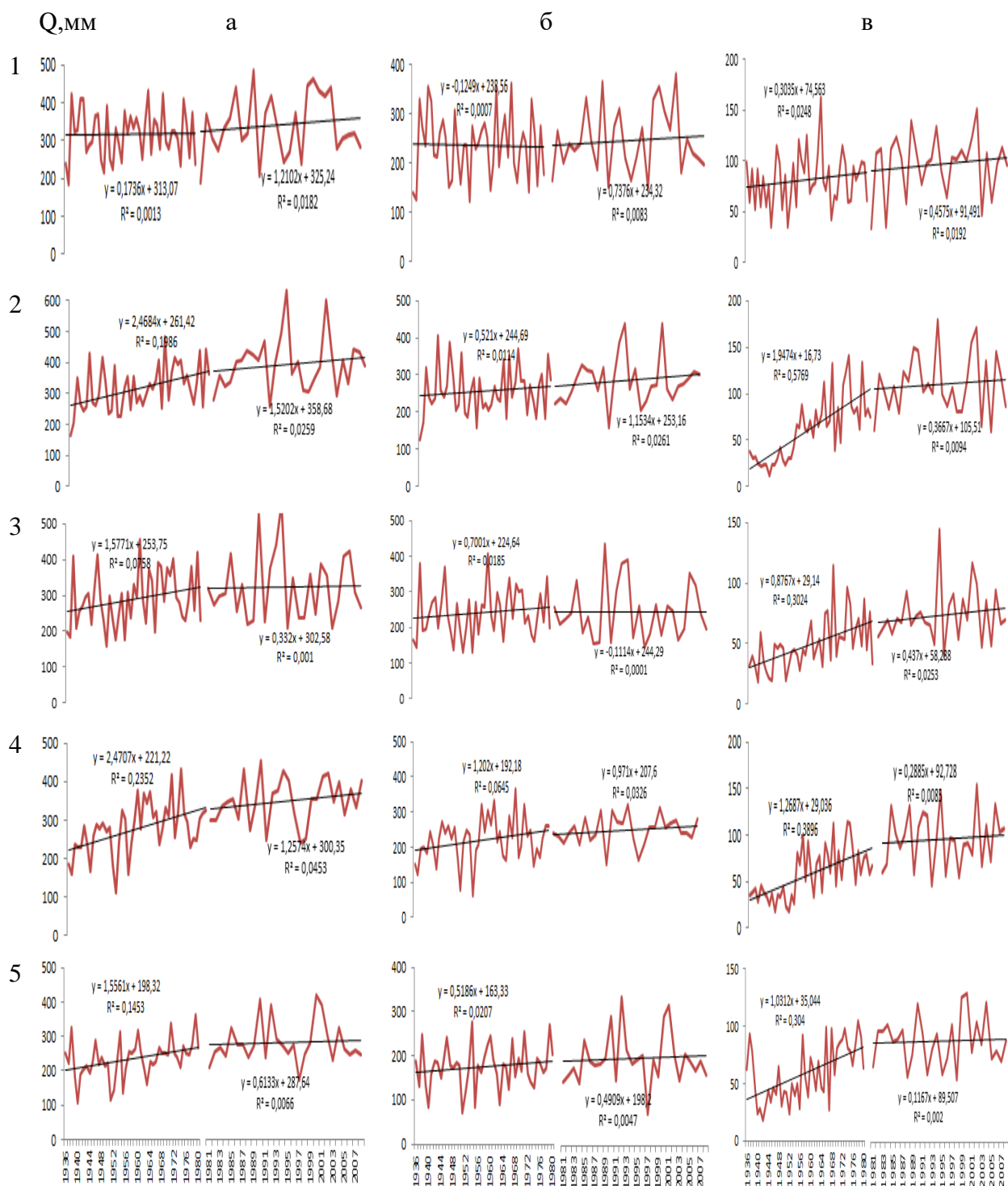


Рис. 2.1. Динамика и линейные тренды годовых сумм осадков (а), осадков теплого периода (б), осадков холодного периода (в) за периоды 1936-1980 и 1981-2008 гг. на рассматриваемых станциях Северного Казахстана: 1 – Костанай, 2 – Петропавловск, 3 – Кокшетау, 4 – Астана, 5 – Павлодар

Максимальное количество осадков выпадает в июле (46-69 мм), в июне - августе выпадает 35-51 % годовой нормы. Осенью осадков выпадает больше, чем весной. Наименьшее в году количество осадков выпадает в феврале и марте (6-9 % годовой нормы).

Тенденции многолетних изменений атмосферных осадков определялись путем расчета линейных трендов (рис.2.1), и анализа уравнения линейного тренда (табл. 2.1).

Таблица 2.1 Многолетняя динамика осадков за различные периоды осреднения в Северном Казахстане

№ станции	Периоды, гг.														
	1936-2008			1936-1980			1961-1990			1981-2008			1991-2008		
	норма, мм	стандартное отклонение	коэффициент линейного тренда	норма, мм	стандартное отклонение	коэффициент линейного тренда	норма, мм	стандартное отклонение	коэффициент линейного тренда	норма, мм	стандартное отклонение	коэффициент линейного тренда	норма, мм	стандартное отклонение	коэффициент линейного тренда
Год															
1	327	68,0	0,61	317	63,0	0,17	327	65,2	0,99	343	73,8	1,21	345	74,0	1,11
2	342	80,2	1,88	318	72,7	2,47	360	60,7	1,43	381	77,7	1,52	387	89,2	-0,02
3	297	80,0	0,73	290	75,3	1,58	308	74,3	-0,36	307	87,5	0,33	311	89,9	-1,46
4	294	63,4	1,43	278	66,9	2,47	312	51,9	-0,61	319	48,6	1,28	321	49,7	2,07
5	258	64,4	1,61	234	53,6	1,56	265	51,7	3,41	296	62,3	0,61	299	66,2	-1,14
теплый период															
1	239	64,8	0,19	236	64,8	-0,12	238	63,7	0,58	245	66,5	0,74	245	70,4	0,90
2	262	62,1	0,44	257	64,1	0,52	265	52,1	0,04	270	58,8	1,15	275	68,0	0,09
3	242	71,6	0,19	241	67,7	0,70	247	66,5	-0,34	243	78,7	-0,11	244	77,7	-1,42
4	221	55,6	0,37	220	62,1	1,20	229	52,3	-1,25	222	44,3	0,97	225	49,7	1,20
5	187	53,8	0,73	175	47,4	0,52	185	45,1	2,05	205	59,1	0,49	208	65,9	-1,74
холодный период															
1	88	27,1	0,42	81	25,3	0,30	89	28,8	0,37	98	27,2	0,46	100	23,4	0,03
2	80	40,5	1,43	61	33,7	1,95	95	29,8	1,39	111	31,0	0,37	112	33,5	-0,11
3	55	22,7	0,53	49	20,9	0,88	61	19,1	-0,01	64	22,6	0,44	67	27,0	-0,04
4	73	32,3	1,07	58	26,7	1,27	83	24,9	1,10	97	25,8	0,29	96	27,0	0,87
5	71	28,2	0,88	59	24,6	1,03	80	22,3	1,38	91	21,7	0,12	91	23,5	0,59

*Примечание: В таблице 1 – Костанай, 2 – Петропавловск, 3 – Кокшетау, 4 – Астана, 5 – Павлодар.

Уровень значимости ($\alpha=0,05$) коэффициента корреляции (r) для периодов составляет: 1936-2008 гг. $r=0,23$; 1936-1980 гг. $r=0,29$; 1960-1991 гг. $r=0,35$; 1981-2008 гг. $r=0,37$; 1991-2008 гг. $r=0,46$.

Анализ таблицы 2.1 показывает, что количество атмосферных осадков за различные периоды осреднения (1936-2008, 1936-1980, 1961-1990, 1981-2008, 1991-2008 гг.) существенно изменяются. Статистически значимые изменения получены для станции Павлодар в теплом периоде, а также для всех станций в холодном периоде за все рассматриваемые периоды с 1936 по 2008 гг.

Сравнение суммы осадков в целом за год за период 1936-2008 гг. с базисным периодом 1961-1990 гг. показывает, что значимое уменьшение (-18 мм) отмечается на станциях Петропавловск и Астана.

В период 1981-2008 гг., по сравнению с периодом 1936-1980 гг. наблюдается рост годовых значений атмосферных осадков в пределах от 17 до 63 мм на всех рассматриваемых станциях.

Таким образом, средние многолетние нормы осадков, на всех рассматриваемых станциях Северного Казахстана, начиная с 1981 года, возрастают, причем значительное изменение отмечается в холодное время года. Так, на станции Петропавловск, многолетняя норма осадков холодного периода увеличилась с 61 до 111 мм, а на остальных станциях она изменялась в пределах 15-39 мм. В теплое полугодие положительное отклонение от нормы на рассматриваемых станциях изменялось от 2 до 30 мм.

2.2 Повторяемость избыточно влажных и сухих периодов

Об изменчивости климата, в том числе и осадков, можно судить по частоте повторяемости аномальных периодов увлажнения – избыточно влажных и сухих. Было определено общее количество лет с дефицитом, нормой и избытком осадков и составлен их каталог по всем станциям (табл.2.2).

Для выделения месяцев с дефицитом, нормой и избытком осадков использовались критерии Г.В. Леоновой и Т.А. Богдановой [61].

Год (и периоды года – теплый, холодный) относился к избыточно влажному, если сумма осадков превышала 120 % средней многолетней нормы ($\Sigma Q \geq 120\%$), и к сухому, если сумма осадков составляла 80 % и меньше средней многолетней нормы ($\Sigma Q \leq 80\%$). Аномалии осадков рассчитывались по отношению к норме, вычисленной за весь исследуемый период – 1936-2008 гг.

Таблица 2.2 Повторяемость влажных ($\Sigma Q \geq 120\%$) и сухих ($\Sigma Q \leq 80\%$) периодов на рассматриваемой территории Северного Казахстана в 1936-2008 гг.

Год						
Пункт наблюдений	$\Sigma Q \geq 120\%$		$81 \geq \Sigma Q < 119\%$		$\Sigma Q \leq 80\%$	
	число случаев	%	число случаев	%	число случаев	%
1	15	20	43	59	15	21
2	14	19	40	55	19	26
3	18	25	33	45	22	30
4	13	18	47	64	13	18
5	13	18	49	67	11	15
теплый период (апрель-октябрь)						
1	16	22	40	55	17	23
2	11	15	49	67	13	18
3	17	23	32	44	24	33
4	12	17	47	64	14	19
5	14	19	46	63	13	18
холодный период (ноябрь-март)						
1	18	25	33	45	22	30
2	25	34	22	30	26	36
3	19	26	30	41	24	33
4	26	36	20	27	27	37
5	24	33	25	34	24	33

Анализ таблицы 2.2 показывает, что дефицит осадков отмечается как в теплый, так и в холодный период. Но в холодный период повторяемость аномалий увлажнения больше, исключение составляет станция Кокшетау.

Максимальное число случаев дефицита осадков приходится на станции Петропавловск и Астана (26 и 27 соответственно). Особенно сухими были 1936-1952, 1959, 1967 гг., когда сумма осадков была ниже средней многолетней нормы почти на 50 %.

В теплое полугодие на большинстве станции Северного Казахстана число случаев с дефицитом осадков изменялось от 13 до 24. Наиболее сухими были

1936, 1937, 1951, 1952, 1991 и 1997 гг., сумма осадков была ниже средней многолетней нормы на 40-50 %, достигая в отдельные годы 70 %.

Начиная с 1980-х г., на территории Северного Казахстана отмечается увеличение влажных холодных периодов. А наиболее влажными были: 1966, 1972, 1987, 2002 гг. Особенно много осадков выпало в холодный период 2002 года, когда сумма осадков превышала норму на 45-50 %.

В теплое полугодие на рассматриваемых станциях избыточное увлажнение отмечалось в течение всего периода (1936-2008 гг.). Наиболее влажными были: 1938, 1960, 1979, 1990, 2001 гг., когда сумма осадков превышала норму в 1,5-2 раза. На станциях, расположенных в лесостепной зоне число случаев с избыточным увлажнением превышает их число на станциях степной зоны.

Таким образом, наибольшей повторяемостью избыточно влажных и сухих периодов отличаются станции Петропавловск и Кокшетау. И в холодный, и в теплый периоды на рассматриваемых станциях чаще наблюдаются отрицательные аномалии сумм осадков. Поэтому снижение годовой суммы осадков с запада на восток происходит за счет уменьшения осадков, как в теплый, так и в холодный период, хотя начиная с 1980-х годов, отмечается тенденция к увеличению осадков.

2.3 Макроциркуляционные условия влажных и сухих периодов

Циклоническая и антициклоническая активность атмосферы является основным фактором, определяющим состояние и изменчивость погоды на Земле. Наиболее динамичными являются циркуляционные факторы, которые обуславливают перенос больших масс атмосферного воздуха, образующихся над Мировым океаном и сушей, а также между отдельными климатическими зонами Земли. Существует ряд типизаций циркуляционных процессов и способы их учета, предложенные в разное время Г.Я. Вангенгеймом, А.А. Гирсом, М.Х. Байдалом и др [8,62,67].

Все процессы общей циркуляции атмосферы (ОЦА) в первом синоптическом районе (45 ° з.д – 95 ° в.д) северного полушария согласно Г.Я. Вангенгейму объединены в три формы: западную (W), восточную (E) и меридиональную (C) [8].

Следует отметить, что изучением свойств общей циркуляции атмосферы, её форм и характера погоды, свойственного каждой форме в 60-70-е годы XX века для территории Казахстана, обстоятельно занимался М.Х. Байдал. М.Х. Байдал в своих работах для обозначения западной формы циркуляции W, использует букву «Ш» (широтная) [62, 86, 87].

Для западной (широтной) W формы циркуляции характерен зональный перенос воздушных масс в толще тропосферы, возникающие волны малой амплитуды быстро смещаются с запада на восток. У земли наблюдается зональное смещение барических образований в направлении ведущего потока. Поскольку при этой форме у земли и на высотах зональные составляющие циркуляции максимально усилены, а меридиональные – ослаблены, то межширотный обмен воздушными массами значительно ослабевает.

Процессы форм E и C отражают меридиональное состояние атмосферы и в тропосфере им соответствуют стационарные волны большой амплитуды.

Восточная форма циркуляции (E) характеризуется наличием высотного гребня над Европейской территорией России (ЕТР) и двумя ложбинами, направленными с Гренландии на Европу и из районов Таймыра на Западную Сибирь и Казахстан.

Меридиональная форма циркуляции (C) характеризуется высотным гребнем над Восточной Атлантикой и вторым гребнем над Казахстаном и Западной Сибирью и высотной ложбиной над ЕТР [86].

В период активного развития формы C над Северным Казахстаном формируется антициклональное барическое поле. Под восточной частью гребня и западной частью ложбины на высотах и у земли формируется область с положительной аномалией осадков, а по западной периферии высотного гребня и у восточной части ложбины - область дефицита осадков.

За рассматриваемый период (73 года) в течение года преобладают процессы формы С (141 день). Это же закономерность характерна как для теплого, так и для холодного периода (61 и 80 дней соответственно).

На основе анализа линейных трендов (рис. 2.1) можно отметить, что в период 1936-1980 гг. повторяемость атмосферных процессов формы Ш уменьшалась, как в теплый, так и в холодный период, а повторяемость процессов формы С увеличивалась (рис. 2.2).

Ш

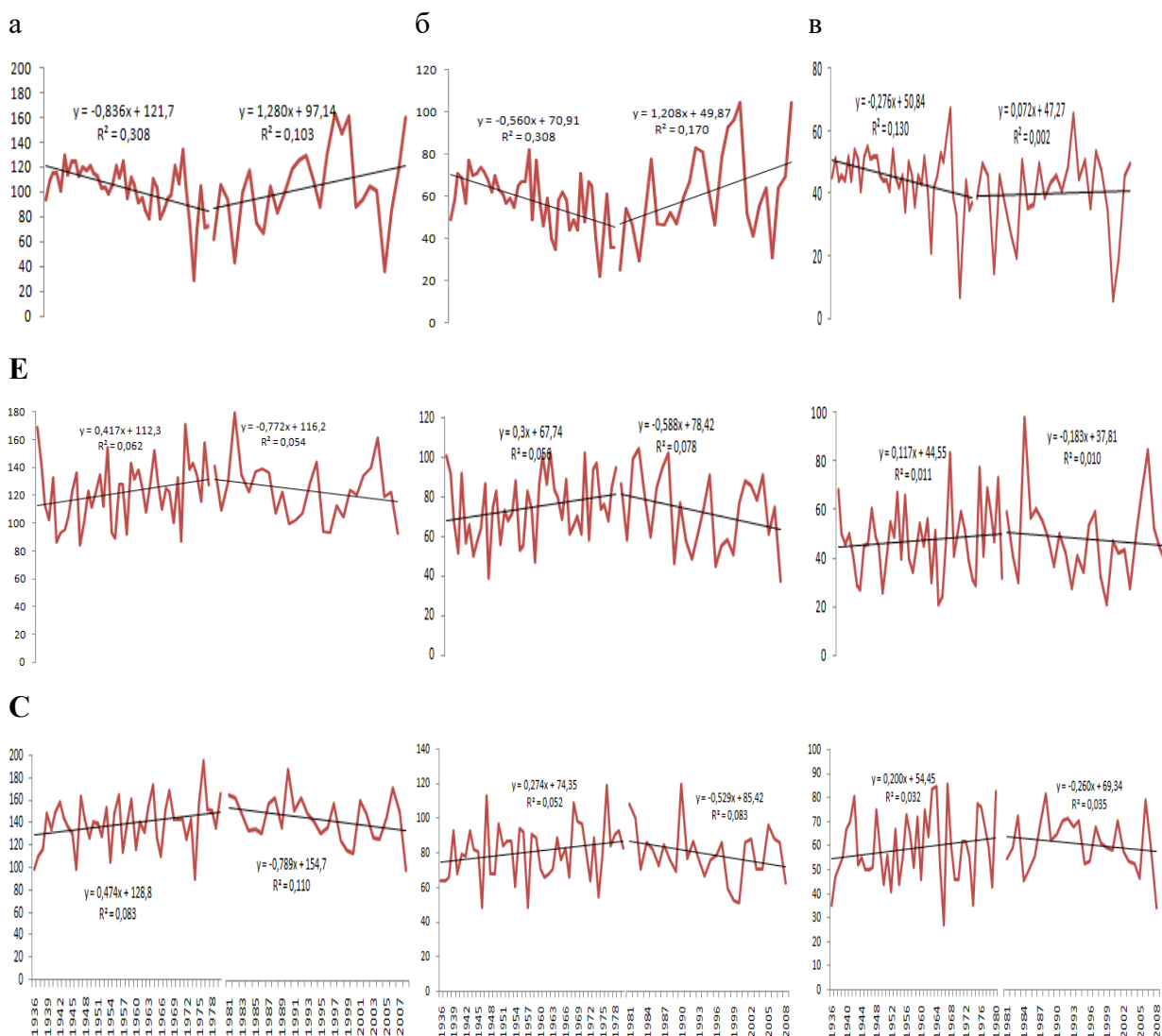


Рис.2.2 Повторяемость форм циркуляции Ш, Е, С (дни) за периоды 1936-1980, 1981-2008 гг. и линейные тренды: а - год, б - теплый период, в - холодный период

В период увеличения повторяемости формы Ш и уменьшения - формы С (1981-2008 гг.) отмечается рост осадков и в холодный, и в теплый периоды года на всей территории Северного Казахстана.

На основе парной корреляции осадков и форм циркуляции (Ш, Е, С) установлено, что в теплый и холодный периоды наиболее тесные статистически значимые связи отмечаются на станциях Костанай, Павлодар и Петропавловск (табл. 2.3).

Таблица 2.3. Матрица коэффициентов парной корреляции аномально влажных и сухих периодов и форм циркуляции Ш, Е, С (1936-2008 гг.)*

Станция	Форма циркуляции	Теплый период		Холодный период	
		$\Sigma Q \leq 80\%$	$\Sigma Q \geq 120\%$	$\Sigma Q \leq 80\%$	$\Sigma Q \geq 120\%$
Костанай	Е				-0,55
	С		0,25		0,42
Петропавловск	Ш		0,35	-0,54	
	Е	-0,37		0,38	
	С	0,25			
Кокшетау	Ш		0,27		
	Е				
	С	-0,34		0,27	
Астана	Ш		-0,35		
	С				0,26
Павлодар	Ш			0,37	
	С		0,26	-0,25	

*Примечание: при числе степеней свободы ($m=71$) уровень значимости ($\alpha=0,05$) коэффициента корреляции составляет 0,23 [88].

Аномально влажные холодные периоды чаще формируются при активизации атмосферных процессов формы циркуляции С, а аномально влажные теплые периоды - при форме Ш. Аномально сухие холодные периоды на рассматриваемых станциях отмечаются при развитии атмосферных процессов формы циркуляции Е и Ш, а аномально сухие теплые периоды - при форме С.

В последнее время все большее внимание уделяется вопросу изменчивости тропосферной циркуляции Северного полушария и влияния переноса над Северной Атлантикой на многолетнюю изменчивость

климатических характеристик. Наибольший интерес представляют процессы, воздействующие на циркуляцию атмосферы в Северном полушарии, где проживает основная часть ее населения и размещается практически вся Мировая экономика. Одним из таких процессов является Североатлантическое колебание.

В качестве исходных данных использовались ряды среднемесячных значений I_{NAO} [63]. На основе этих данных проведен корреляционный анализ между аномалиями осадков и $I_{NAO}>0$, $I_{NAO}<0$ по месяцам для рассматриваемой территории Северного Казахстана за период 1950-2008 гг. Значимые коэффициенты корреляции между аномалиями осадков и индексом NAO выявлены лишь в отдельные месяцы. Распределение коэффициентов корреляции между аномалиями осадков при $I_{NAO}>0$ и $I_{NAO}<0$ и развитии разных форм циркуляции в северном Казахстане меняются от месяца к месяцу (табл. 2.4). Согласно [80], можно отметить, что число лет как при $I_{NAO}>0$, так и при $I_{NAO}<0$ в зимний период превышает летний, т.е. наиболее ощутимым влияние САК является зимой, и оно способно влиять на состояние синоптических процессов во всем Северном полушарии.

При $I_{NAO}>0$ аномально сухие периоды на рассматриваемой территории формируются в теплый период (май, июнь) при развитии атмосферных процессов форм циркуляции С, а в холодный период (январь) - в период активного развития форм циркуляции Е и Ш.

Аномально влажные периоды формируются зимой (январь) только в Костанае при активизации атмосферных процессов формы циркуляции С, а в теплый период – при форм циркуляции Е и Ш.

При $I_{NAO} < 0$ в Северном Казахстане в летний период при активизации атмосферных процессов формы циркуляции Е отмечается избыток, а при формы циркуляции Ш - дефицит осадков. Влажные холодные периоды наблюдаются при развитии атмосферных процессов формы циркуляции Ш, сухие – при форме циркуляции Е.

Таблица 2.4. Парная корреляция аномалии осадков при $I_{NAO}>0$ и $I_{NAO}<0$

Станция	Месяц	Число лет	Число случаев аномально влажных и сухих периодов /форма циркуляции		Коэффициент корреляции (r)			
			$\Sigma Q \geq 120$ %	$\Sigma Q \leq 80$ %	Ш	Е	С	I_{NAO}
$I_{NAO}>0$								
Петропавловск	январь	35	14	14/Е	-	-	-	-0,41
						0,21		
	июнь	32	6/Ш	10/С	-0,77	-	0,33	-0,32
	октябрь	30	7/Е	12/С	-	-0,36	0,49	0,30
Костанай	январь	35	8/С	18	-	-	0,68	-0,27
Кокшетау	май	32	7/С	17/С	-	-	0,44	-0,25
Астана	январь	35	2/Ш	25/Ш	-	-	-	-0,32
					0,33			
	май	25	11/Ш	7/Ш			0,67	-0,29
Павлодар	февраль	32	13/Е	11	-	-0,27	-	-0,23
	апрель	30	11/Ш	14	-0,26	-	-	-0,26
	сентябрь	31	11	13/С	-	-	-0,41	-0,25
$I_{NAO}<0$								
Петропавловск	июль	27	7/Е	11/Ш		0,40	-	0,26
					0,33			
Костанай	июль	27	7/С	11/Е	-		-0,45	0,25
						0,51		
	август	30	10/Е	13/Ш		0,47	-	-0,39
	декабрь	24	7/Ш	9/С	-0,30			
					0,37		0,38	0,46
Кокшета	март	30	9/Ш	12/Ш	0,67	-	-	0,26
	май	34	4/Е	18/Ш		0,67	-	-0,23
					0,33	0,33		
Павлодар	май	34	7/Е	20/Ш		0,37		-0,41
					-0,43			
	ноябрь	33	13/С	13/Ш		-	0,38	-0,38
					-0,24			

В остальные месяцы на рассматриваемой территории, как в теплый, так и в холодный периоды года коэффициенты парной корреляции слабые.

2.4 Синоптические условия выпадения обильных осадков

В данной главе рассматриваются некоторые характеристики обильных осадков с 1 апреля по 30 сентября с 2003 по 2013 гг., а также синоптические условия, обуславливающие формирование и выпадение этих осадков.

Согласно исследованиям В.Г. Дейчевой обильные осадки на всей территории Казахстана выпадали очень редко, от 1 до 7 раз в 10 лет [13]. По результатам выполненных исследований, количество обильных осадков, только в Северном Казахстане, в последнее десятилетие составило от 3 до 10 раз (табл. 2.5).

Таблица 2.5 Наблюденный максимум осадков, мм (2003-2013 гг.)

Пункт наблюдений	Наблюденный максимум осадков, мм		Средняя месячная норма осадков, мм
	со дня образования станций до 1973 г.	период исследований (2003-2013 гг.)	
Петропавловск	88,4	45,7 (25.05.2011)	32
Астана	71,4	31,1 (3.08.2008)	41
Костанай	71,1	53,0 (28.07.2013)	51
Павлодар	104,6	72,7 (12.07.2007)	39
Кокшетау	54,8	43,3 (26.06.2012)	45

Анализ таблицы 2.5 показывает, что в последнее десятилетие наблюдается снижение выпадения количества наблюдаемых максимальных осадков в 1,5-2 раза, так наблюдаемый максимум осадков по исследованию В.Г. Дейчевой [13] изменялся от 54,8 (Кокшетау) до 104,6 мм (Павлодар).

Можно видеть, что средняя месячная многолетняя норма осадков за вегетационный период изменяется в пределах 32-51 мм. В северных районах республики обильные осадки выпадают в мае - августе. За исследуемый период, почти на всех станциях наблюдаемый максимум осадков за сутки превышает месячную норму осадков, а на станции Павлодар за этот же период осадков выпало в два раза выше месячной нормы.

В работе также были рассмотрены синоптические условия выпадения обильных осадков. Всего за рассматриваемый период было зарегистрировано 36 случаев обильных осадков. Все случаи объединены в две большие группы: фронтальные и внутримассовые. С фронтальными процессами связано 28 случаев, а с внутримассовыми - 8. Для этого анализировались приземные и кольцевые карты, а также карты барической топографии. Ниже даны основные типы синоптических процессов и указана повторяемость каждого типа (табл. 2.6).

Таблица 2.6 Повторяемость типов синоптических процессов, (%)

№	Типы синоптической ситуации	Число случаев	Повторяемость, %
Фронтальные			
1	вторжение холодного воздуха, прохождение холодных фронтов западного и северо-западного вторжений	14	38,8
2	центральная часть циклона западного и северо-западного вторжений	9	25,0
3	выход южно-каспийских циклонов	1	2,7
4	высокий малоподвижный циклон, прохождение вторичных холодных фронтов	4	11,1
Внутримассовые			
5	старый заполняющийся циклон над севером Казахстана	6	16,7
6	тыловая часть высотных малоподвижных циклонов	2	5,6

Наиболее часто выпадение обильных осадков в количестве 25-30 мм за сутки, было связано с вторжением холодного воздуха на Северные районы Казахстана и прохождением холодных фронтов, а также в центральной части циклонов (63,8 %) западных и северо-западных вторжений.

В 13,8 % осадки выпадали при выходе южно-каспийского циклона и в высоких малоподвижных циклонах с прохождением вторичных фронтов.

В 22,3 % осадки были связаны со старыми заполняющимися циклонами над Севером Казахстана и их тыловыми частями.

В ходе исследования все синоптические процессы выпадения обильных осадков были объединены в 6 типов:

Тип 1. Синоптическая ситуация этого типа характеризуется большой меридиональностью высотного барического поля, сменой воздушных потоков южного направления на северное, особенно при северо-западных вторжениях. При западных вторжениях меридиональность выражена слабее. Оси барических и термических ложбин направлены с северо-запада на юго-восток. При этом барическая ось проходит в среднем 300-500 км западнее линии приземного фронта, а термическая ось отстает от барического на 100-200 км, таким образом, в тылу холодного фронта формируется интенсивная высотная фронтальная зона (ВФЗ) с большими контрастами давления и температуры.

Основные случаи выпадения значительных ливней связаны с западными вторжениями холодных масс воздуха, прохождением холодных фронтов, и в центральных частях циклонов. На холодных фронтах часто возникали волновые возмущения, замедляя их перемещение.

Анализ приземных и карт барической топографии показал, что во всех случаях выпадения значительных осадков воздушные массы отличались с большими запасами энергии неустойчивости. Контраст температуры в зоне фронта у земли составлял 6-10 °С на 500 км. На картах относительной топографии контрасты достигали 16-20 дкм/1000 км. Сумма дефицитов точки росы на трех уровнях А-Т850, АТ-700 и АТ-500 изменялась в пределах 3-10 °С.

Примером такого случая может служить выпадение значительных осадков 11-12 июля 2007 года. Так, на станции Кокшетау 11 июля выпало 32,6 мм осадков за сутки, а 12 июля - 30,9 мм, при месячной норме 63,0 мм. На станции Павлодар 12 июля выпало 72,7 мм, что составляет почти две месячных норм (месячная норма 39 мм) осадков.

На карте АТ-500 к северо-западу от Казахстана наблюдается большая циклоническая область, окаймлённая с запада и востока пологими гребнями (рис.2.3). Циклонически изогнутые изогипсы с большим радиусом кривизны по южной приферию этого центрального циклона образуют планетарную высотную фронтальную зону (ПВФЗ), обуславливая юго-западные течения над Казахстаном, и запад-северо-западные над Кавказом и Черным морем.

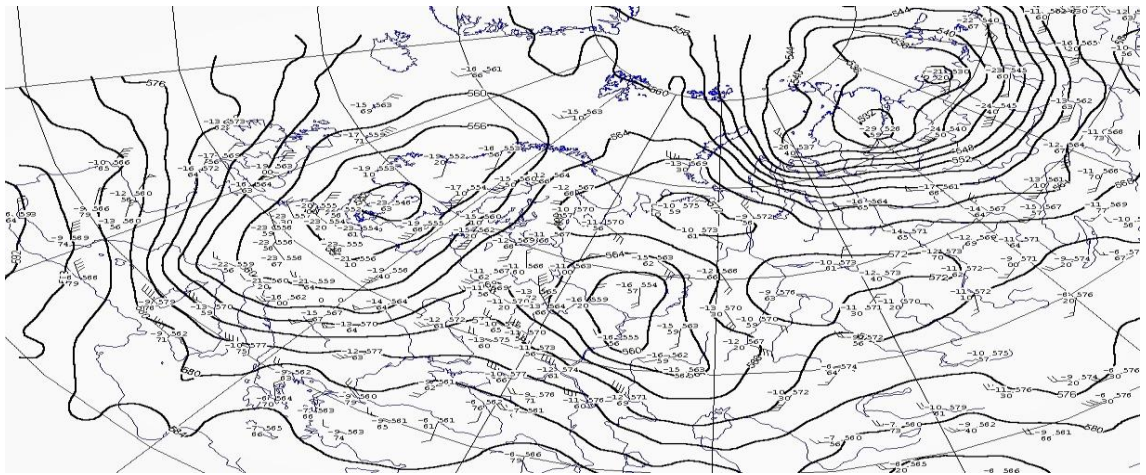


Рис. 2.3. Карта барической топографии уровня 500 гПа за 00 ч СГВ 11 июля 2007 г.

Степень меридиональности невелика и в Казахстан поступает воздух, движущийся с Атлантики по южной Европе. Воздушная масса влажная, дефициты на карте АТ-850 и АТ-700 вблизи центра циклона составляет 1-5 °С. Такой процесс можно отнести к влажному западному, согласно классификации среднеазиатских и казахстанских ученых [21].

У земли на большей части Казахстана наблюдаются антициклонические образования, смещающиеся с ЕТР (рис. 2.4). Один центр находится над юго-востоком и востоком Казахстана, очерчен изобарой 1005 гПа, второй центр расположен над Кавказом мощностью 1016 гПа. Погоду над северной частью Казахстана определяет циклон, смещающийся с центральных районов ЕТР через Урал на Западную Сибирь. Его глубина составляет около 995 гПа.

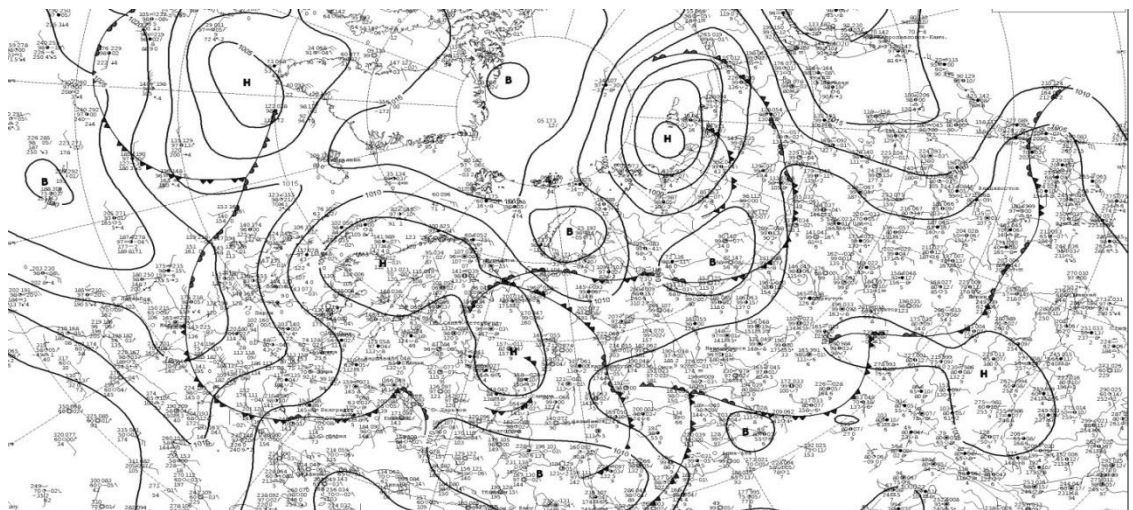


Рис. 2.4. Карта погоды за 00 ч СГВ 11 июля 2007 г.

Циклон высокий, находится в стадии максимального развития. На карте OT_{1000}^{500} вблизи приземного центра наблюдается замкнутый очаг холода. С ним связаны две системы фронтов, холодные участки которых проходят почти меридионально через центральные районы Казахстана. По мере продвижения к востоку на холодных фронтах возникают волны, из которых развиваются молодые циклоны. Анализ кольцевых карт за 10 и 11 июля показывает один из таких циклонов образующихся к северо-востоку от Аральского моря.

Развитию циклона на фоне в общем небольшой меридиональности способствовало усиление ложбины над Центральным Казахстаном, правая часть которой является циклогенетической. Расходимость циклонически изогнутых изогипс и переход их от циклонической кривизны в антициклоническую привели к сильному динамическому падению давления. Интенсивная адвекция тепла с юго-запада также способствовала падению давления у земли. В результате в тыл возникшего циклона западное вторжение осуществлялось быстро и энергично. Фронты являются быстро движущимися холодными фронтами второго рода, хорошо выражены в поле всех метеорологических величин. Контраст температуры в зоне фронта у земли составлял 6-10 °С на 500 км, а на карте относительной топографии достигал 16-25 дкм/1000 км. 11 и 12 июля холодные фронты вызывали обильные ливни, грозы, похолодание, усиление ветра в северных и северо-восточных районах республики.

12 июля центр возникшего циклона сместился на территорию Павлодарской области, он начал заполняться (рис. 2.5). В тылу циклона вытянулась ложбина в западном направлении, в которой образовался ряд вторичных фронтов. Их возникновению способствовал заток свежих порций арктического воздуха по западной периферии циклона, о чем свидетельствует появление новых очагов роста давления на картах-кольцовках. Циклонически изогнутые изогипсы с большим радиусом кривизны по южной приферии этого центрального циклона образуют планетарную высотную фронтальную зону

(ПВФЗ), обуславливая юго-западные течения над Казахстаном, и запад-северо-западные над Кавказом и Черным морем.

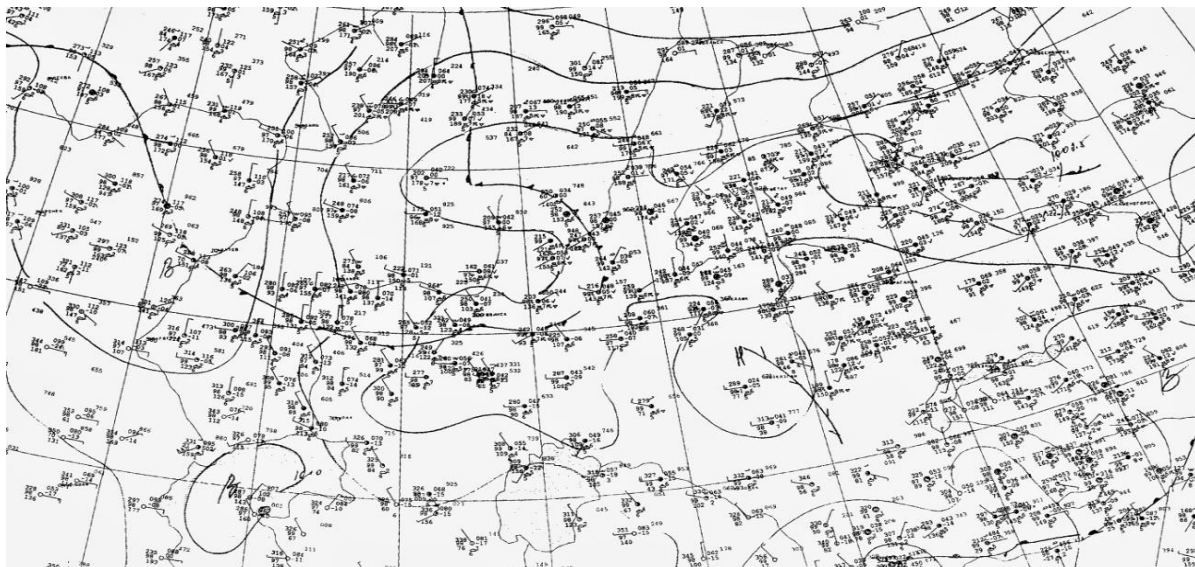


Рис. 2.5. Кольцевая карта погоды за 12 ч СГВ 12 июля 2007 г.

Усилению неустойчивости воздуха, а также выпадению обильных ливней в тыловой и центральной частях циклона способствовал интенсивный прогрев воздуха у земли.

Температура воздуха в дневные часы повышалась до 20-25 °С, на высотах еще сохранялась адвекция холода, у земли значения точки росы были высокие 15-18 °С.

Тип 2. Обильные осадки в этом случае выпадали вблизи центров циклонов западного и северо-западного вторжений. Приземным центрам циклона соответствовали высотные циклоны, центры которых располагались западнее приземных. В тыловой части циклона располагалось глубокая ложбина холода на карте барической топографии, что говорит о большой неустойчивости воздушной массы. Контрасты температуры во фронтальной зоне у земли и на уровне АТ-850 составляют 3-9 °С, а на карте относительной топографии 13-25 дкм/1000 км. Суммарный дефицит точки росы на трех уровнях АТ-850, АТ-700 и АТ500 равен 3-12 °С.

Примером этого типа может служить выпадение значительных осадков 27-28 июля 2013 года.

Высотное барическое поле характеризовалось барическим гребнем над Центральной Европой, ось которого проходила со Средиземного моря на Скандинавский полуостров (рис. 2.6). Над восточной частью ЕТР и Уральским хребтом располагался центр высотного циклона, от которого в юго-западном направлении на районы Черного моря и Кавказа вытягивается ложбина. Между ними формируется ПВФЗ, ось, которой проходит со Скандинавского полуострова, на юго-восток ЕТР то есть, огибает высотный циклон с юга и над Казахстаном приобретает направление с юго-запада на северо-восток.

Данная макросиноптическая ситуация соответствует северо-западному холодному вторжению.

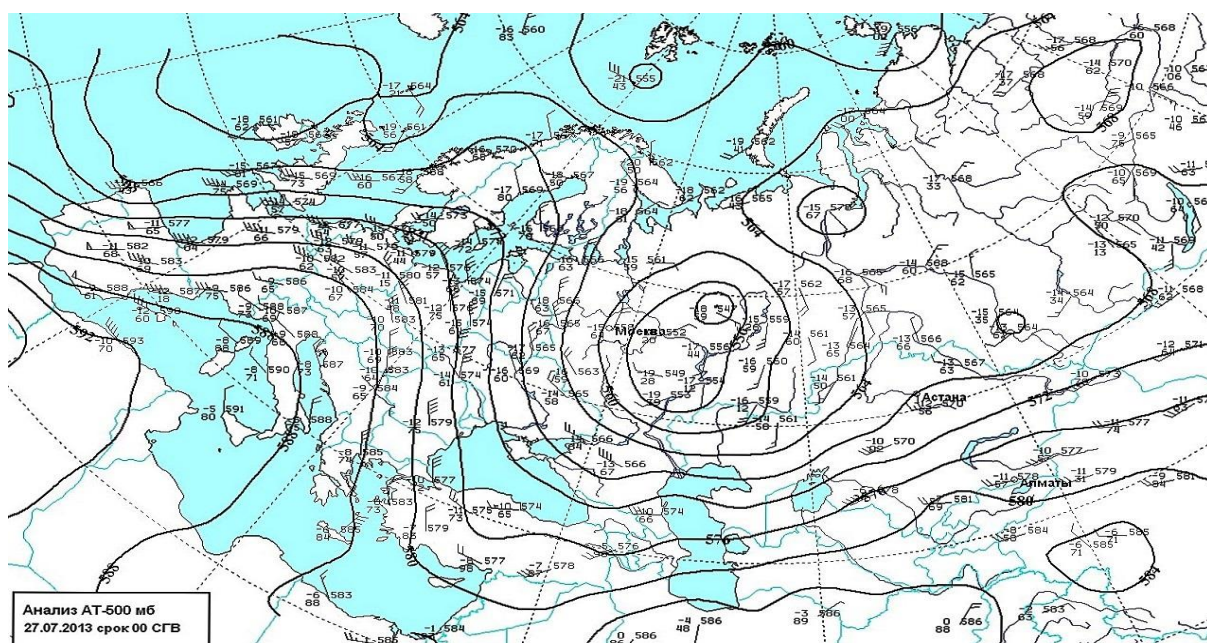


Рис. 2.6. Карта барической топографии уровня 500 гПа за 00 ч СГВ 27 июля 2013 г.

Поскольку высотный гребень и циклон развиты до больших высот, ПВФЗ имеет большую интенсивность. Над территорией Северного Казахстана она составляет 20-22 дкм/1000 км, что способствует активной циклонической деятельности у земли. На высоте с ней связаны струйные течения со скоростями 150-160 км/час, обеспечивающие вынос теплого влажного воздуха в юго-западных потоках на высотах.

У земли над юго-востоком ЕТР и Западным Казахстаном располагается обширный высокий циклон с давлением в центре <995 гПа (рис. 2.7). В нижней тропосфере это термически ассиметричное барическое образование, на верхних уровнях (300, 200 гПа) ему соответствует замкнутый очаг холода. С ним связан арктический фронт, а по южной периферии этого циклона на территории Казахстана развита волновая деятельность на фронте умеренных широт. При этом в северных областях с 25 по 27 июля выпадали кратковременные дожди, местами значительные. Благодаря наличию северо-западных высотных течений в тылу циклона, холодные воздушные массы усиливают температурные и барические контрасты в ВФЗ умеренных широт.

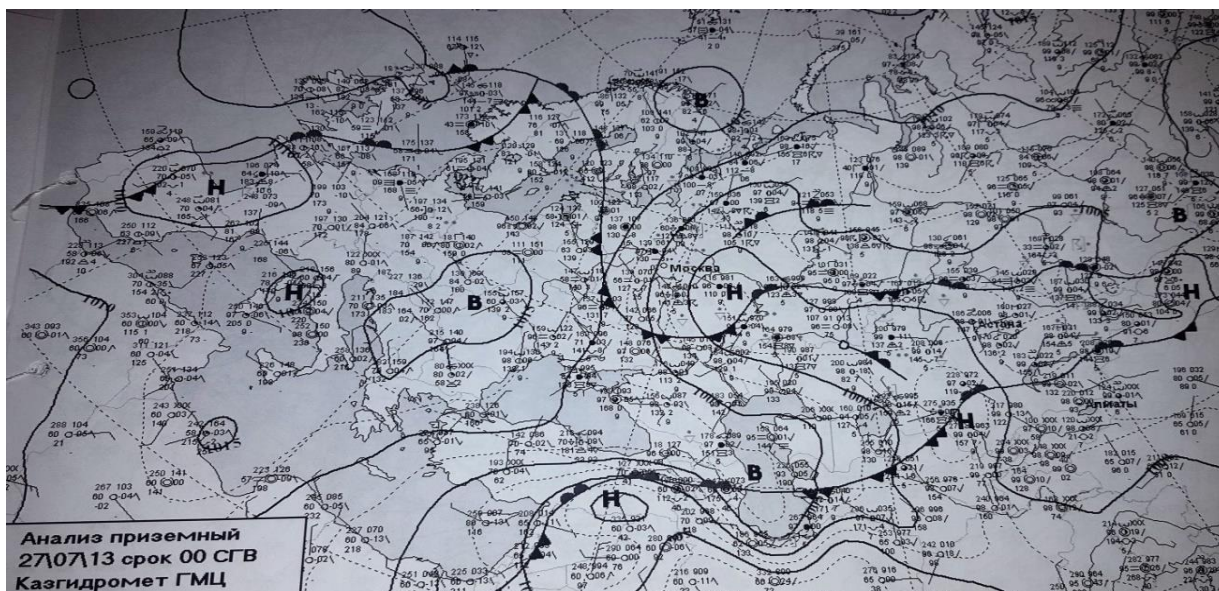


Рис. 2.7. Карта погоды за 00 ч СГВ 27 июля 2013 г.

Кроме того правая часть ПВФЗ обладает большой степенью циклогенетичности. Эти факторы способствуют развитию циклогенеза с юга и более глубокого проникновения холода к югу.

В результате над Центральным Казахстаном на волне полярного фронта возник молодой циклон, который начал смещаться в северо-восточном направлении. При этом он углублялся, оформлялся несколькими замкнутыми изобарами, вызывая похолодание, небольшие осадки в южных и центральных областях Казахстана.

28 июля центр циклона достиг 55° широты, началось заполнение и окклюдирование циклона. В его тылу за счет непрерывного подтока свежих порций холодного воздуха и малоподвижности циклона, развиваются вторичные фронты, обуславливающие обильные ливневые дожди в северных областях Казахстана.

У земли и на высотах над этой территорией отмечалась значительная циклоническая кривизна изобар и изогипс, что способствовало возникновению упорядоченных восходящих токов. Значительной неустойчивости атмосферы способствовало наличие ложбины холода на высотах и интенсивный прогрев воздуха у земной поверхности. Температура воздуха в дневные часы поднималась до $25-28^{\circ}\text{C}$. Кроме того большое увлажнение всей толщи тропосферы (дефицит в нижней половине тропосферы составляет $0-4^{\circ}\text{C}$) также способствовало выпадению обильных ливней.

Тип 3. Характерным признаком выхода южно-каспийского циклона на Казахстан является меридионально преобразованное поле над ЕТР. Над Западной Европой располагается высотный барический гребень, а над ЕТР глубокая барическая ложбина с высотным циклоном над югом ЕТР, которому соответствует замкнутый очаг холода. Ось барической ложбины направлена на Черное море. Над территорией Казахстана сохраняется гребень тепла, что способствует увеличению контраста температуры в ВФЗ, направленной с юго-запада на северо-восток, под которой у земли наблюдался выход южно-каспийского циклона. Фронт, вызвавший сильные дожди на Севере Казахстана имел большой контраст температуры. У поверхности земли и на карте АТ-850 он достигал $10-15^{\circ}\text{C}$, на карте относительной топографии сгущение изогипс над северными районами Казахстана составляло $35-40$ дкм/1000 км. Воздух характеризовался повышенной влажностью, суммарный дефицит точки росы на трех уровнях составлял $3-7^{\circ}\text{C}$.

Примером этого случая является выпадение обильных осадков 27 апреля 2006 года. Учитывая значимость ливневых осадков в вегетационный период для сельского хозяйства, необходимо знать синоптическую ситуацию, при которой

они выпадают. Проанализируем случай выпадения обильных осадков в Северном Казахстане 27 апреля 2006 года. В этот день на станции Костанай выпало 24,9 мм, Петропавловске – 13,8 мм, Кокшетау – 39,2 мм, Астане – 9,9 мм, Павлодаре – 13,3 мм. Термобарическое поле меридионально преобразовано так, что на карте АТ-500 над Западной Европой располагается хорошо развитый высотный гребень и очаг тепла в тропосфере, а над ЕТР – высотный циклон над Черным морем и очаг холода (рис 2.8).

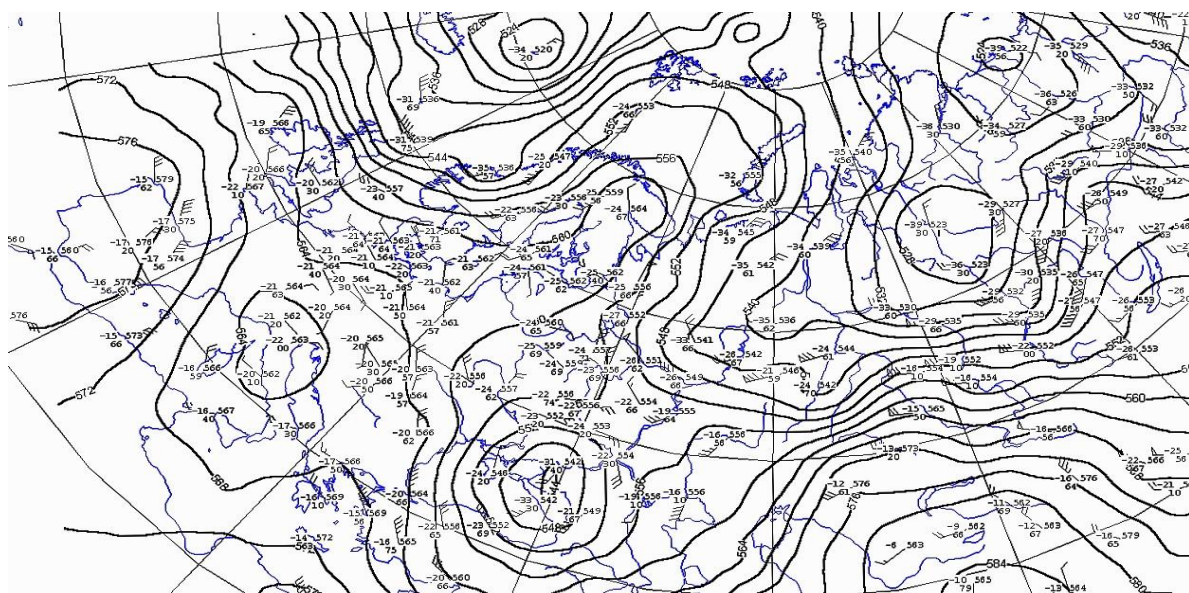


Рис. 2.8. Карта барической топографии уровня 500 гПа за 00 ч СГВ
27 апреля 2006 г.

Над Украиной, Малой Азией углубляется высотная ложбина, что усиливает высотный гребень над Средней Азией и Казахстаном. Появление гребня служит прогностическим признаком прорыва южно-каспийского циклона. Ось высотной ложбины ориентирована на Черное море. Южно-каспийский циклон развивается на азиатской ветви фронта умеренных широт, проходящем от восточной части Средиземного моря через Месопотамию на Среднюю Азию и Казахстан. ПВФЗ проходит от Скандинавии на Балканы, на юг Каспийского моря, через Среднюю Азию и Казахстан на Западный Сибирь.

Под циклогенетическим участком этой ВФЗ и осуществляется прорыв южно-каспийского циклона. Его прорыву способствует и термический фактор. Благодаря меридионально преобразованной системе воздушных течений на Восточное Средиземноморье осуществилось вторжение холодных воздушных масс, а над территорией Средней Азии и Казахстана наблюдается интенсивная адвекция тепла (угол адвекции составляет $45-90^{\circ}$), способствующая падению давления. Двусторонняя адвекция создает значительные горизонтальные температурные и барические градиенты.

Северная ветвь ПВФЗ связана с деятельностью арктического фронта.

У земли южно-каспийский циклон очерчен изобарой 1005 гПа, является молодым, низким барическим образованием, смещается к северо-востоку на район Аральского моря (рис. 2.9).

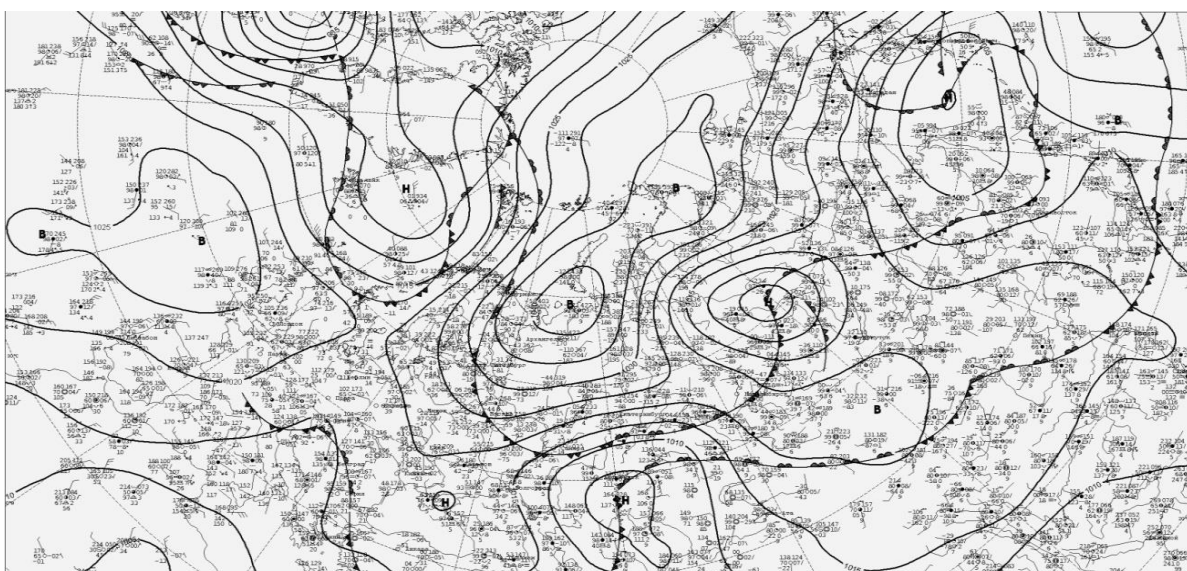


Рис. 2.9. Карта погоды за 00 ч СГВ 27 апреля 2006 г.

В теплом секторе располагаются воздушные массы тропического происхождения. Антициклон над Восточным Казахстаном и Западной Сибирью, юго-западная периферия которого охватывала восточная часть Средней Азии и Казахстана начинает отступать на восток. В результате в этих районах давление падает, что связано с мощным выносом теплых масс. Температура воздуха в теплом секторе циклона достигает в дневные часы $25-30^{\circ}\text{C}$.

Циклон, достигая северных районов Казахстана, регенерирует на Арктический фронте северо-западного холодного вторжения, углубился на 5-6 гПа, что подтверждается анализом кольцевых карт за 12, 15 ч (рис. 2.10).

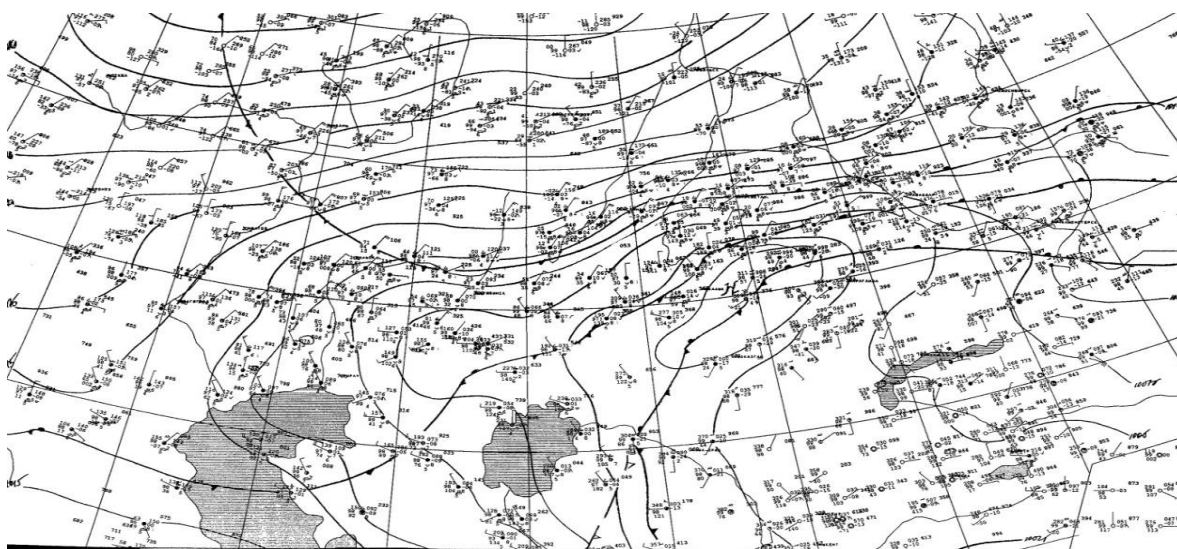


Рис. 2.10. Кольцевая карта погоды за 12 ч СГВ 27 апреля 2006 г.

На быстрое проникновение холодных воздушных масс в тыл южно-каспийскому циклону, следовательно, и на ускорение процесса регенерации оказывает орография Кавказского хребта.

Фронтальные разделы, вызвавшие сильные дожди обострились. У поверхности Земли и на высоте 850 гПа контрасты температуры достигали значений 20-25 °С, а сгущение изогипс на карте OT_{1000}^{500} изменялось в интервале 30-40 дкм/1000 км расстояния. Воздух характеризовался повышенной влажностью, суммарный дефицит точки росы на АТ – 850, 700, 500 составлял 4-6 °С.

Вследствие регенерации и увеличения барических градиентов усилились восходящие токи. Воздушная масса в области циклона была очень неустойчивой. Все эти факторы способствовали выпадению обильных ливней в Северном Казахстане. Различная интенсивность ливней объясняется местоположением центра циклона после регенерации, а также физико-географическим положением станций.

Тип 4. Для этого типа характерно наличие высокого, малоподвижного медленно заполняющегося циклона, по западной периферии которого, прохождение вторичных холодных фронтов вызвало выпадение обильных дождей.

Примером служит обильные осадки в северных областях Казахстана с 24 по 26 июня 2005 года, которые были связаны с вторжением воздуха умеренных широт с запада через Кавказ и Каспийское море за холодными фронтами.

24 июня на высотных картах (рис. 2.11) над Западной Сибирью и Северным Казахстаном наблюдается большая циклоническая область, окаймленная с запада и востока гребнями. Причем западный теплый гребень более мощный. По южной периферии центрального циклона проходит ПВФЗ, обуславливая над Казахстаном запад-юго-западные течения, приносящие влажные воздушные массы с северных широт Атлантики.

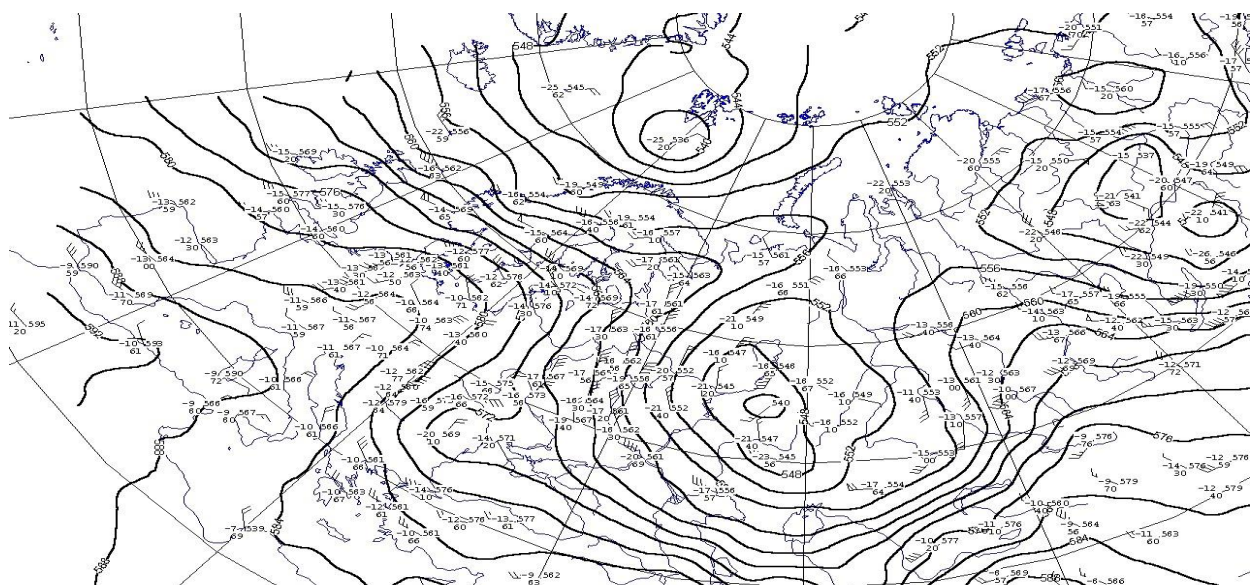


Рис. 2.11. Карта барической топографии уровня 500 гПа за 00 ч СГВ 24 июня 2005 г.

Фронты являются быстро движущимися, прослеживаются вверх до 7 км и выше, контрасты температур на карте АТ850 составляют 12-18 °С, воздух очень

влажный до больших высот, сумма дефицитов в слое 850-500 гПа над Северным Казахстаном составляет 0-4 °С.

У земли на большей части Казахстана наблюдаются антициклонические образования, которые смещаются с ЕТР (рис. 2.12).

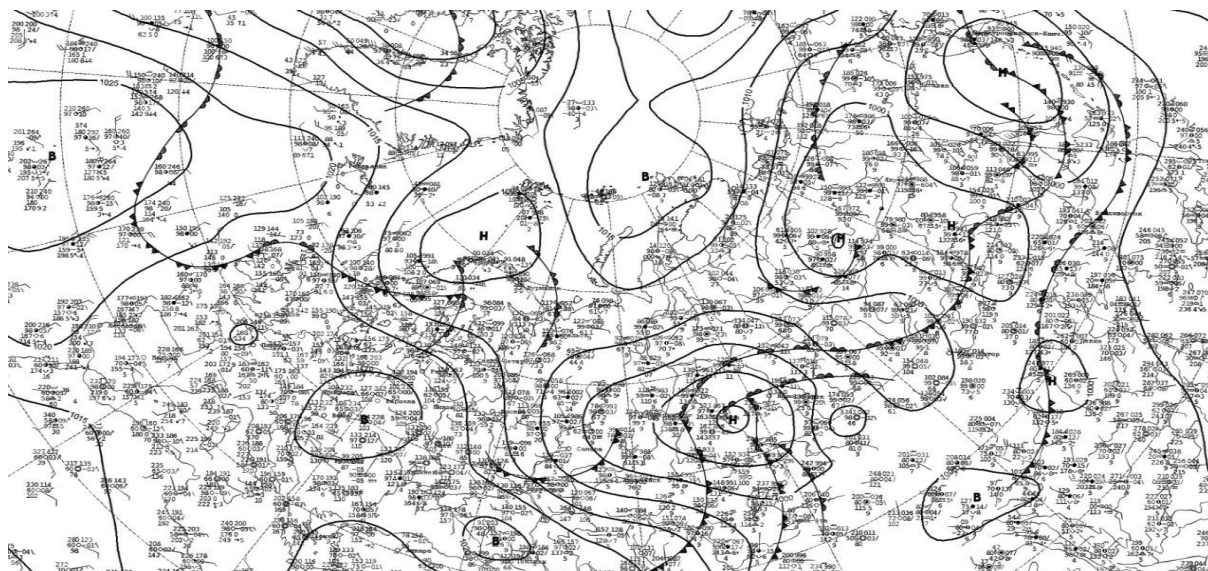


Рис. 2.12. Карта погоды за 00 ч СГВ 24 июня 2005 г.

На юге Западной Сибири и севером Казахстана располагается глубокий, обширный циклон, с давлением в центре менее 985 гПа, с которым связаны две системы фронтов. В тылу циклона вытягивается в западном направлении глубокая ложбина, в которой образуются вторичные фронты.

Прохождения холодного фронта и холодного фронтального образования по северу Казахстана вызвало выпадение обильных осадков: в Костанаве – 29 мм, Кокчетаве – 27,3 мм, Петропавловске – 6,6 мм, Павлодаре – 14,6 мм, Астане – 3,0 мм.

Возникновению мощных кучево-дождевых облаков на фронтах способствовало увеличивающаяся с высотой адвекция холода, большие упорядоченные вертикальные движения вблизи центра циклона, большие контрасты температуры и большая влажность теплого воздуха.

На высоте наблюдались струйные течения со скоростью 80-100 км/час. В течение суток циклон смещался в северо-восточном направлении по ведущему потоку, достиг стадии максимального развития и начал окклюдироваться.

25 июня скорость его перемещения заметно уменьшилась. Территория Северного Казахстана находилась в тыловой части циклона, где проходили вторичные фронты. На картах барической топографии в тыловой части циклона располагалась глубокая ложбина воздуха. Воздушная масса была очень неустойчивой. Этому способствовало большое увлажнение всей толщи тропосферы, наличие очага холода на высотах и прогрев воздуха у земной поверхности. Кроме того, у земли и на высотах в районах ливней отмечалась значительная циклоническая кривизна изобар и изогипс, способствующая возникновению упорядоченных восходящих токов (рис. 2.13).

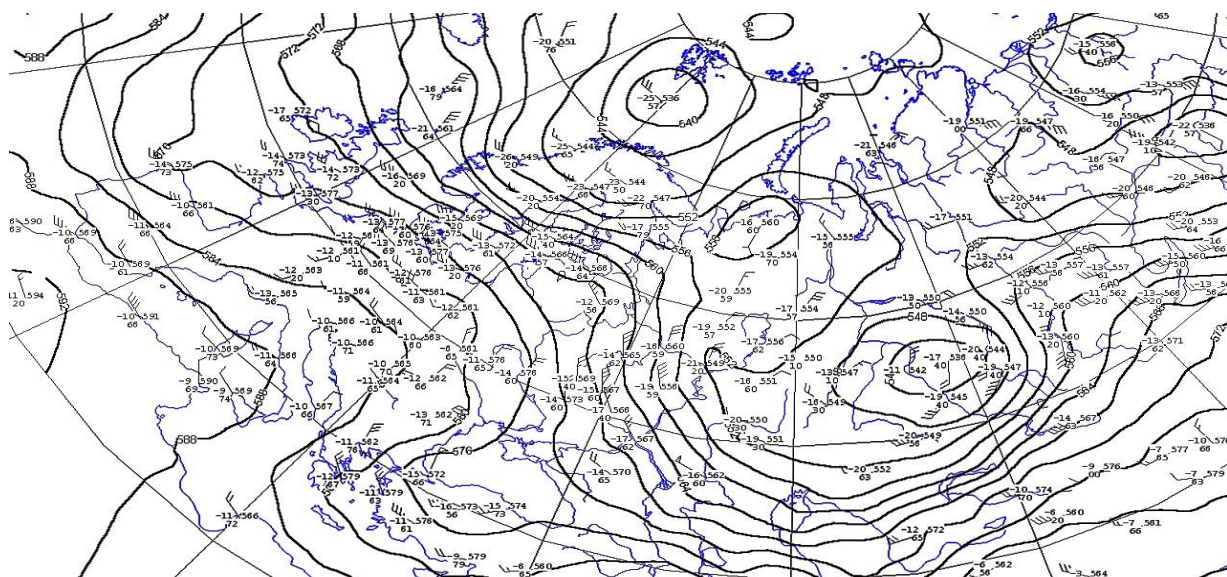


Рис. 2.13. Карта барической топографии уровня 500 гПа за 00 ч СГВ 25 июня 2005 г.

Ливни прошли меньшей интенсивностью и продолжительностью, чем при прохождении основных фронтов. На станциях Петропавловск, Кокчетав, Павлодар и Астана выпало соответственно 12,1; 6,3; 4,1 и 1,1 мм.

Одновременно над Кавказом, Каспийским морем юго-западом Казахстана в тылу высотной ложбины происходит резкое увеличение циклонической кривизны изогипс и их сходимости, что дает динамический рост давления. Адвекция холода вызывает у земли термически обусловленный рост давления. Эти факторы создают приземный антициклогенез в Центральном и Южном Казахстане (рис. 2.14).

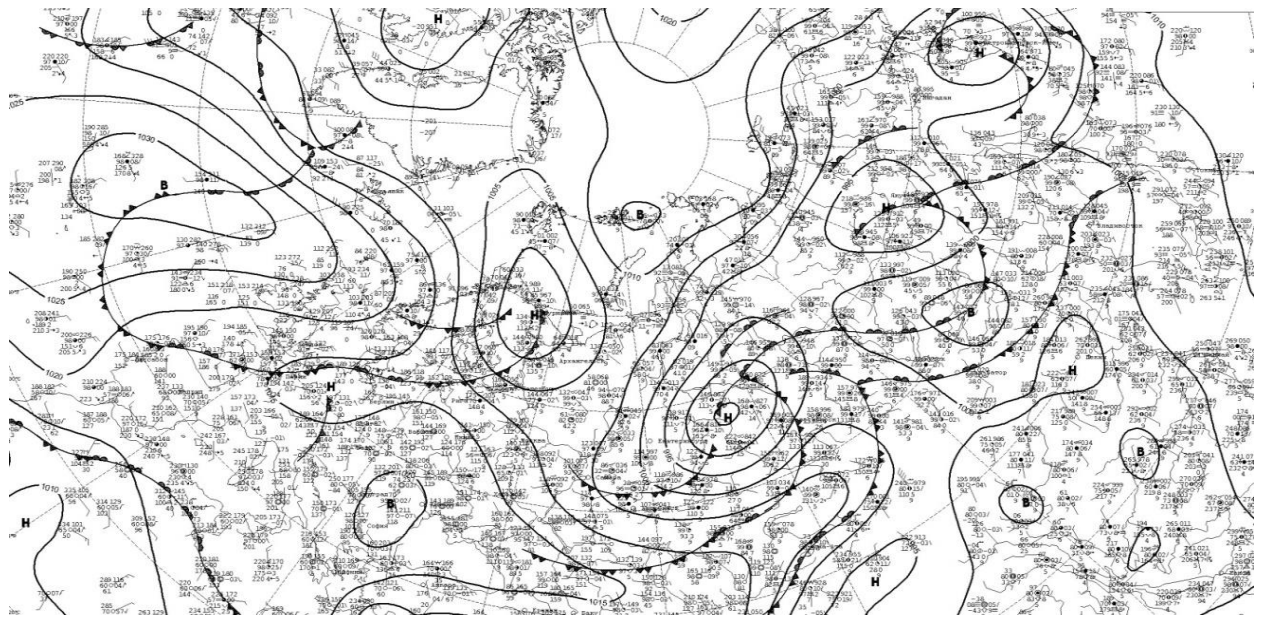


Рис. 2.14. Карта погоды за 00 ч СГВ 25 июня 2005 г.

26 июня центр циклона достиг 55° широты, оставаясь малоподвижным, он продолжал заполняться. Над юго-восточной частью ЕТР появляется новый циклон серии западного вторжения, с которым связан новый арктический холодный фронт, это - вторжение второй порции холода, которая накануне занимала Украину. Вхождение новой системы фронтов по южной периферии старого заполняющегося циклона, обусловило обострение ВФЗ и связанного с ней ХФО. Прохождение его по северу и северо-востоку республики вызвало усиление осадков. В результате на станциях Костанай, Петропавловск, Кокчетав ливни прошли незначительные (1-6 мм), а на станции Павлодар выпало 26,4 мм.

Тип 5. Синоптическая ситуация этого типа характеризуется наличием над Северным Казахстаном малоградиентной области пониженного давления. Осадки выпадали в отдельных пунктах, и распределение их по территории характеризуется пятнистостью. Возникновению значительных дождей способствовало большое увлажнение тропосферы и неустойчивая стратификация, связанная с прогревом воздуха у земной поверхности. Суммарный дефицит точки росы на АТ-850, АТ-700 и на АТ-500 (рис. 2.15) изменялся в пределах $7-12^{\circ}\text{C}$.

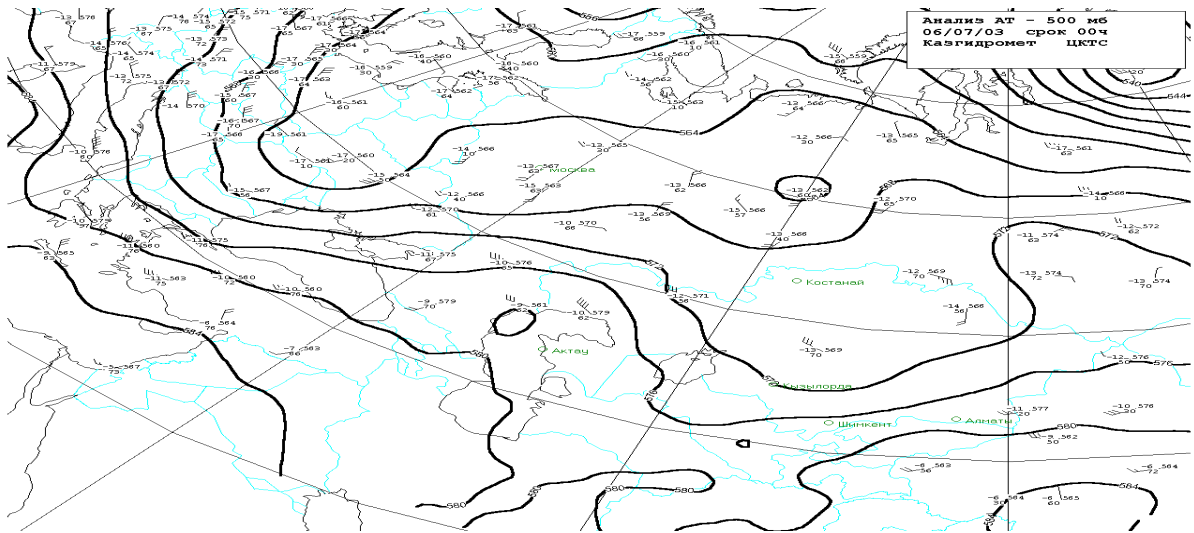


Рис. 2.15. Карта барической топографии уровня 500 гПа за 00 ч СГВ 6 июля 2003 г.

Примером может служить выпадение значительных осадков 6-7 июля 2003 года. Над югом Западной Сибири, северным и центральным Казахстаном располагался высокий заполняющийся циклон, глубиной 1005 гПа с центром над Петропавловском (рис. 2.16). На высоте ему соответствовала глубокая малоградиентная ложбина с замкнутым центром, а на карте OT_{1000}^{500} - замкнутый очаг холода.

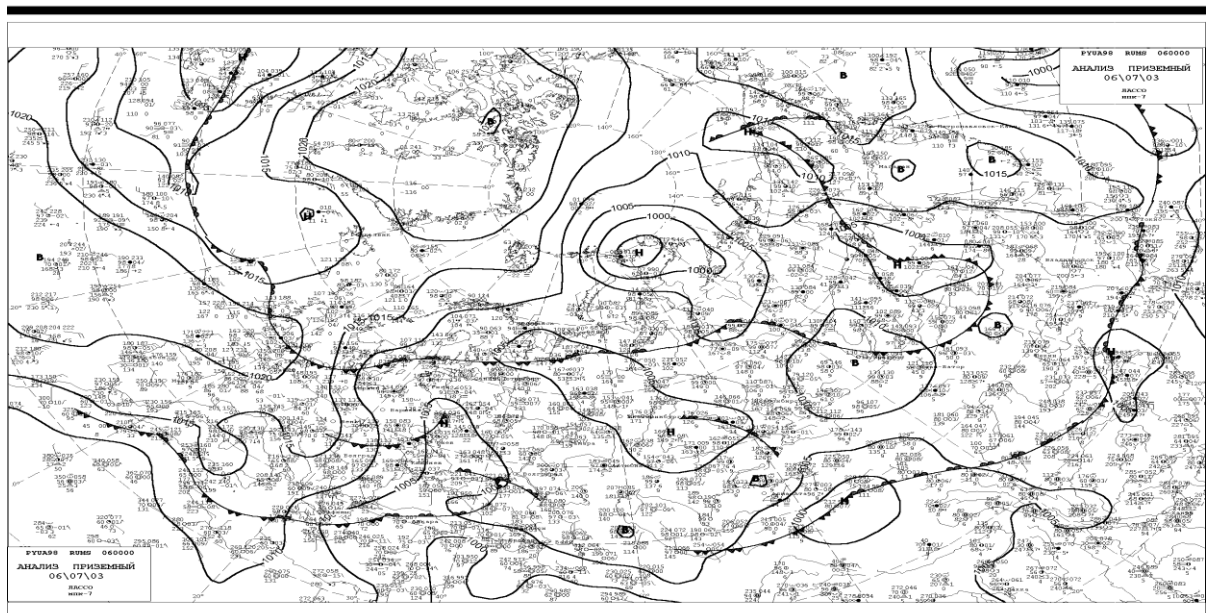


Рис. 2.16. Карта погоды за 00 ч СГВ 6 июля 2003 г.

Циклон малоподвижный. В течение 2-3 суток на периферии его проходили вторичные холодные фронты, вызывая обильные ливневые дожди. Так, на ст. Костанай 6 июля выпало 25,4 мм, 7 июля – 14,8 мм осадков, что составляет 30-50 % от месячной нормы. На станции Петропавловск 7 июля выпало 16,4 мм, на ст. Астана – 28,2 мм, на ст. Кокшетау и Павлодар 2,4 и 2,9 мм соответственно. Причиной являлась большая неустойчивость воздушной массы, особенно в полуденные часы, обусловленная прогревом воздуха у земной поверхности и наличием низких температур на высоте. Кроме того, у поверхности земли и на высотах в районах ливней отмечалась значительная циклоническая кривизна изобар и изогипс, что способствовало усилению упорядоченных восходящих токов, увлажнению всей толщи тропосферы. Суммарный дефицит точки росы на 3-х поверхностях АТ-850, 700, 500 гПа составлял 5-10 °С.

Тип 6. Обильные осадки этого типа наблюдались чаще всего в тыловой части циклона и связаны с прохождением вторичных холодных фронтов. Обильные ливни отмечались в основном во второй половине дня. Формированию и выпадению ливневых осадков способствовал значительный дневной прогрев воздуха у поверхности земли при наличии очага холода на высотах в средних и верхних слоях, что обуславливало большую термическую неустойчивость во всей толще тропосферы. Суммарный дефицит на трех уровнях не превышал 10-15 °С.

Примером такого случая может служить выпадение обильных осадков 26-28 июля 2012 года. Над севером Казахстана располагался обширный глубокий, малоподвижный циклон, находящийся в стадии максимального развития. Прослеживался циклонический вихрь до больших высот, большая часть его занята холодной воздушной массой. С ним связан фронт окклюзии. В тыловой части отмечался вторичный холодный фронт (рис. 2.17). В дневные часы происходит интенсивный прогрев подстилающей поверхности, при наличии очага холода на высотах конвективные токи приводят к появлению мощных кучево-дождевых облаков и выпадению внутримассовых ливневых дождей.

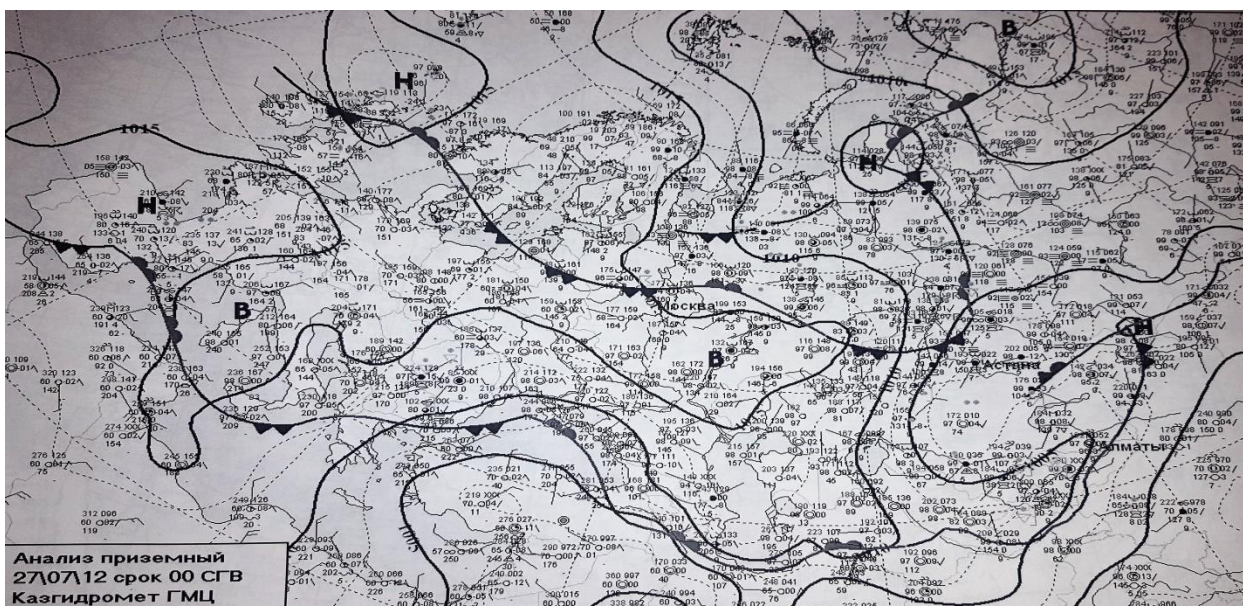


Рис. 2.17. Карта погоды за 00 ч СГВ 27 июля 2012 г.

Усилению неустойчивости способствует увеличение горизонтальных барических градиентов в дневные часы, большая влажность воздуха. Дневные температуры воздуха достигали 25-30 °С. Ливневые осадки на исследуемых станциях выпадали пятнами. Так, на станции Петропавловск 26 июля выпало 18,8 мм, на станции Кокшетау 27 июля – 23,3 мм, а на станции Астана 28 июля – 25,2 мм осадков.

Исходя из выше изложенного, можно сделать следующие выводы:

1) на станциях, расположенных в лесостепной зоне, число случаев с избыточным увлажнением превышает их число на станциях степной зоны. За период 1936-2008 гг. средние многолетние нормы осадков, на всех рассматриваемых станциях Северного Казахстана, начиная с 1981 года, возрастают, причем значительное изменение отмечается в холодное время года. На станции Петропавловск многолетняя норма осадков холодного периода увеличилась с 61 до 111 мм, а на остальных станциях она изменялась в пределах 15-39 мм. В теплое полугодие положительное отклонение от нормы на рассматриваемых станциях изменялось от 2 до 30 мм;

2) из рассматриваемых станции Северного Казахстана наибольшей повторяемостью избыточно влажных и сухих периодов отличаются станции

Петропавловск и Кокшетау. И в холодный, и в теплый периоды на рассматриваемых станциях чаще наблюдаются отрицательные аномалии сумм осадков. Поэтому снижение годовой суммы осадков с запада на восток происходит за счет уменьшения осадков, как в теплый, так и в холодный период, хотя начиная с 1980-х годов, отмечается тенденция к увеличению осадков;

3) формирование сухих и влажных периодов отмечается при развитии атмосферных процессов трех (Ш, Е, С) форм циркуляции. В период 1981-2008 гг. увеличение осадков в теплый период года в Северном Казахстане отмечается на фоне роста повторяемости формы циркуляции Ш и снижения форм Е и С;

4) корреляционный анализ при $I_{NAO}>0$ и $I_{NAO}<0$ между аномалиями осадков и развитии разных форм циркуляции в Северном Казахстане показал, что при положительных значениях индексов САК связь лучше выражена, чем при отрицательных значениях. Таким образом, формирование положительных аномалий осадков имеет большую связь с циркуляционной активностью Северного полушария, которая благоприятно действует на земледелие в вегетационный период;

5) значительные осадки в Северном Казахстане наблюдаются в основном в летнее время, следует отметить, что прослеживается некоторое увеличение количество обильных осадков [13]. За период 2003-2013 гг. их число варьировало от 3 до 10 раз, количество осадков при этом составляло 25-73 мм;

6) выделено 6 основных типов синоптических процессов, при которых наблюдаются значительные ливни. Чаще всего они связаны с вторжением холодного воздуха и прохождением холодных фронтов западного и северо-западного вторжений. И реже всего осадки выпадали в тыловой части высотных малоподвижных циклонов;

7) в 78 % осадки были связаны с фронтальными процессами, и лишь в 22 % случаев - с внутримассовыми;

8) при выпадении обильных ливней воздух характеризовался неустойчивой стратификацией. Контрасты температуры в зоне фронта у поверхности земли изменялись в пределах 3-10 °С. Сумма дефицитов точек росы на трех изобарических поверхностях была порядка 3-12 °С для фронтальных условий, и 7-15 °С - для внутримассовых;

9) продолжительность внутримассовых осадков, как правило, меньше фронтальных. На их формирование и выпадение большую роль оказывает орографические особенности местности;

ГЛАВА 3 СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСАДКОВ. ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА В ОСАДКАХ

В развитых зернопроизводящих странах прогнозы урожая зерна лежат в основе государственной политики по эффективному регулированию производства и проведению коммерческих сделок. Роль таких прогнозов должна подняться и в экономике Казахстана, который стал самостоятельным государством. Территория республики находится в зоне рискованного земледелия, подверженной сильной изменчивости осадков, и, следовательно, колебанию урожайности зерновых культур.

Кроме того, из практики было ясно, что для сезона уборки очень важное значение имеет еще, и смена сухих и влажных периодов, которые как раз и характеризуются числом суток с осадками и количеством самих осадков. В результате оказалось, что необходимо прогнозировать сухие, нормальные и влажные периоды. Для Казахстана ранее уже разрабатывались методы прогноза числа суток с осадками на декаду Г.М Бондарем [89] и на месяц Г.С. Ахметовой [90]. То, что число суток с осадками должно давать более надежные прогнозы отмечалось и в ряде зарубежных исследований, где прогнозу осадков и связанных с ними сухих и влажных периодов посвящен большой цикл работ. Так, этим вопросом занимались В.С. Пальмер, Дж. Немайес и другие.

В данной главе рассматриваются также загрязняющие вещества в осадках. На территории Северного Казахстана значимым промышленным центром является только Павлодар. Однако южнее рассматриваемого региона расположены крупные промышленные районы Казахстана (Джезказган, Караганда, Темиртау, Балхаш), а западнее – крупный промышленный регион России – Южный Урал, откуда выносы загрязняющих веществ на изучаемый регион обычны. Это и послужило нам основанием рассмотреть проблему загрязнения для региона.

3.1 Статистические характеристики осадков

3.1.1 Метод анализа

Пространственно-временные распределения декадного числа суток с осадками и количества осадков исследовались по данным 5 наиболее длиннорядных метеостанций северной половины Казахстана. Эти станции расположены в тех областях, где выращивают яровую пшеницу (Костанай (1), Петропавловск (2), Кокшетау (3), Астана (4), Павлодар (5)) (рис. 1.2).

Период уборки яровой пшеницы, как правило, начинается здесь во второй декаде августа и заканчивается во второй декаде октября, поэтому рассматривались наблюдения за осадками для 12 декад (с июля по октябрь) по 57-летнему ряду наблюдений (1936-1992 гг.). Всемирная Метеорологическая Организация, а также научно-исследовательские метеорологические службы США считают, что для изучения климата большой выборкой может считаться совокупность 30 независимых наблюдений. Исследователи Санкт-Петербургской и Московской школ предпочитают использовать как можно более длинные ряды. Однако они считают, что для изучения климата сухих районов более показательными являются короткие ряды [91, 92]. Для исследования многолетних особенностей декадных осадков в работе использованы 57-летние ряды. Периодами времени, для которых принято разрабатывать метод прогноза, как уже отмечалось, служили декады. В качестве показателей их сухости и влажности использовались четыре характеристики осадков: N_1 - число дней с осадками, которые были больше или равны 0,1 мм; N_5 - число дней с осадками, которые были больше или равны 5,0 мм; Q_1 - количество осадков, большие или равные 0,1 мм; Q_5 - количество осадков, большие или равные 5,0 мм. Градации осадков 0,1 и 5,0 мм представляют наибольший интерес с точки зрения практического использования. В сумме число проанализированных данных составило

огромное количество значений. Естественно, что такой объем ни охватить, ни осознать просто так невозможно. Поэтому методами климатологической обработки исходные наблюдения преобразовывались, помимо фактических данных, составлялись и климатические ряды, каждый член в которых представлял собой результат некоторого статистического обобщения.

Метеорологические величины не только случайны, но и ограничены. В рассматриваемом случае число суток с осадками в декаде не может быть меньше нуля и больше 11, а количество осадков меньше 0,1 или 5,0 мм. Для случайных величин среднеарифметическое и вероятное отклонения могут терять свой четкий смысл, что заставляет изучать для них формы кривых распределения [93].

Наиболее важными, или так называемыми, базовыми климатическими характеристиками, выражающими основные свойства климатологических рядов являются: средние арифметические значения, среднеквадратические отклонения, коэффициенты асимметрии и эксцесса [94].

Однако существуют еще ряд статистических показателей, которые позволяют получить более ясную картину частотного распределения. Так, например, в случае нормального закона предпочтительнее применять среднюю арифметическую, а не медиану, поскольку ее стандартное отклонение меньше, чем у медианы [95]. Но, если распределение далеко от нормального, то лучше представление о нем дают структурные средние: медиана и мода, а также различные процентиля, т.е. квантили [96, 97].

Учитывая это и еще ряд соображений статистической обработки, для исследования пространственно-временной структуры четырех выбранных характеристик осадков (N_1 , Q_1 , N_5 , Q_5) для каждой станции рассчитывались следующие характеристики: для декад и месяцев – среднее многолетнее значение, или норма. Только для декад рассчитывались медиана, мода, дисперсия, стандартное отклонение и его ошибка; пределы изменений: максимум, минимум и размах; нижний, верхний квартиль и внутриквартильный размах; коэффициенты асимметрии и эксцесса и их стандарты. Эти статистики

составили климатический ряд значений, для которых еще раз рассчитывались некоторые статистики. Таким образом, были получены достаточно обозримые ряды статистик из статистик.

Повторный расчет проводился двойко. В первом варианте для каждой декады определялись статистики, характеризующие изменения статистик от станции к станции. Такой прием позволил проанализировать временную (от декады к декаде) динамику статистик, обобщенных по территории (табл. П. 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 14, 16, 18.). Во втором варианте для каждой станции считались статистики распределения статистик от декады к декаде, что позволило увидеть, как изменяются обобщённые за каждую декаду статистики в пространстве от станции к станции (табл. П. 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 17, 19.). Анализу подвергались не все статистики, а только те, которые имели логический смысл и давали какую-либо ценную информацию.

Описание полученных статистик начато не традиционно со средних значений, а с асимметрии и эксцесса, так как именно они позволяют сделать вывод о близости распределений к нормальному закону, а затем рассматриваются остальные статистики.

Коэффициенты асимметрии (A) и эксцесса (\mathcal{E}) имеют свои критерии и характеризуют форму кривой распределения, указывая на ее скошенность и крутость. Так, при абсолютном значении $|A| < 0,25$ - асимметрия считается малой и распределение можно считать почти нормальным. При $0,25 \leq |A| \leq 0,50$ асимметрия – умеренная, а при $|A| > 0,50$ – сильная, и распределение нормальным считать нельзя. При $A > 0$ число положительных аномалий превышает число отрицательных.

Эксцесс может изменяться в пределах $-2 < \mathcal{E} \leq \infty$. Если $\mathcal{E} < 0$, то имеет место отрицательное плосковершинное распределение с короткими «хвостами», в общем случае это наиболее свойственное для метеорологических величин распределение. При $0 < \mathcal{E} < 0,5$ распределение положительное островершинное и отклонения от среднего малы, кривая плотности имеет при этом или хорошо

выраженную крутизну в центре, или «хвосты» распределения растянуты. Если $\text{Э} > 0,5$, то распределение существенно отличается от нормального.

3.1.2 Результаты анализа

Результаты расчетов асимметрии и эксцесса для рядов среднего числа суток (N) и количества осадков (Q) для двух градаций осадков приведены ниже в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Повторяемость (%) различных видов распределения декадного числа суток (N) и количества осадков (Q) больших или равных 0,1 мм (N1, Q1) и 5,0 мм (N5, Q5)

Виды распределения	N1	N5	Q1	Q5
Асимметрия (A)				
Малая	38			
Умеренная	37	1	1	
Большая	25	99	99	100
Положительная	100	100	100	100
Эксцесс (Э)				
Острове́ршинное	14	81	91	96
Плоско́вершинное	80	16	6	2
Нормальное	6	3	3	2

По данным таблицы 3.1 видно, что коэффициент асимметрии только для N1 приближается к нормальному, но и то только в 38 % случаев, для остальных же метеорологических величин - N5, Q1, Q5 – он далек от нормального почти в 100 %. Для всех выбранных характеристик декадных осадков число положительных аномалий больше, чем отрицательных, так как почти в 100 % случаев $A > 0$. Это свойственно для распределений случайных величин, ограниченных слева, однако число дней с осадками ограничено также и справа. Эксцесс еще сильнее отличается от нормального, но есть особенность: для N1 в

80 % распределение – плосковершинное, а для N5, Q1, Q5 в 81–96 % - островершинное.

В табл. П. 1, 2. приведены значения *коэффициентов асимметрии*, осредненные по декадам и станциям. По данным этих таблиц видно, что только для N1 как при временном, так и при пространственном осреднении можно говорить о близости к нормальному закону. Пределы временного изменения от декады к декаде статистик коэффициентов асимметрии, осредненных по станциям приведены в таблице 3.2.

При изменении статистик N1 от декады к декаде (табл. П. 1.) в шести декадах асимметрия, осредненная по станциям - малая, в трех – сильная. При изменении статистик от станции к станции асимметрия, осредненная по декадам (табл. П. 2.), на всех станциях – умеренная.

Таблица 3.2 - Временное изменение статистик коэффициентов асимметрии

Характеристики осадков	\bar{A}	σ	min	abs(max)
N1	0,20-0,58	0,11-0,32	-0,48-0,23	1,02
N5	1,01-1,79	0,24-0,59	0,37-1,08	2,61
Q1	1,32-2,27	0,39-1,06	0,42-1,10	4,35
Q5	1,70-2,81	0,45-1,14	0,55-1,35	4,51

В подавляющем большинстве случаев распределение количества осадков по грациям подпадает под третий тип распределения по Пирсону (или под γ – распределение) по крайней мере, для исследуемого региона [98], т.е. такое распределение далекое от нормального. В этом случае, как правильно отмечает автор [50], различия между средним и медианой могут быть значительными, до 100 % от средней. На этом основании предлагается прогнозировать медиану, а не среднее многолетнее. Можно согласиться с утверждением, что при большом различии между средним и медианой «число отрицательных отклонений от нормы будет превышать число положительных при отсутствии реальной тенденции к засушливости. Однако при климатическом и долгосрочном

прогнозах отдельные осадки не прогнозируются, используются лишь формулировки типа «выше нормы» и «ниже нормы» без уточнения внутренней структуры осадков. Однако в нашем исследовании осадков для 5 станций Северного Казахстана за период с июля по октябрь (двенадцать недель) были рассмотрены и внутренняя структура осадков, несколько расширив подход. Весь диапазон осадков был разбит на два: 1) до 4,9 мм (1) и 2) 5 мм и более (5). Для каждого из диапазонов рассчитывались два параметра: 1) число дней с осадками каждой из двух градаций N1 и N5 соответственно и 2) распределение количества осадков по величине (Q1 и Q5 соответственно). Введя такое разделение, были выделены из общего распределения диапазон малых осадков, полагая, что, по крайней мере, в этом диапазоне распределение числа дней с осадками и самих осадков окажется близким к нормальному, так как это участок плавного изменения повторяемости.

Для всех выбранных величин декадных осадков число положительных аномалий больше, чем отрицательных, почти в 100 % случаев $A > 0$. Эксцесс в 80 % случаев имеет плосковершинное распределение, сильно отличное от нормального. Это является следствием подчинения осадков закону распределения III типа по Пирсону, где анализируемый параметр ограничен слева. Число дней с осадками в диапазоне N1 ограничено также и справа.

В общем можно сделать вывод, что типы распределения статистических величин коэффициентов для числа суток с осадками и для количества осадков обеих градаций остаются примерно одинаковыми при осреднении коэффициентов, как во времени, так и в пространстве, они далеки от нормального, за исключением числа дней с осадками от 0,1 до 4,9 мм.

Средние значения параметров проанализированы выше. Можно остановиться на целесообразности использования медиан вместо средних. Для сильно асимметричных распределений использование медианы и моды распространено. Расчет медианы особенно полезен, когда нельзя ручаться за концы кривой плотности вероятности, так как медиана от них не зависит. Исключение составляют случаи, когда половина данных попадает в

экстремальные градации, поэтому расчет медианы имеет смысл, тогда, когда число случаев «без осадков» меньше 50 %.

Для N1 получены следующие временные пределы изменения медианы: от 2,47 до 4,53 дня, $\sigma(\text{Me})$ – от 0,46 до 0,74 дня. Пространственные изменения медианы для Северного Казахстана составляют от 2,67 до 3,75 дня при $\sigma(\text{Me})$ – от 0,60 до 0,79 дня. Можно видеть, что временные и пространственные величины медианы и $\sigma(\text{Me})$ близки.

Для Q1 временные пределы изменения медианы от 5,18 до 13,22 мм, $\sigma(\text{Me})$ – от 1,38 до 4,39 мм. Пространственные пределы изменения медианы от 6,26 до 9,97 мм и $\sigma(\text{Me})$ – от 2,29 до 5,20 мм. Таким образом, пространственные статистики медианы для Q1 несколько больше, чем временные, а средние квадратические величины медианы сравнимы с самой медианой, в то время как средние арифметические и временное и пространственное значение близки. Таким образом, все статистики медианы заметно больше, чем статистики среднего арифметического. Аналогичные данные получены и при сравнении медианы и среднего для N5, и Q5, а также для всего теплого периода (жидкие осадки). Полученные результаты указывают на лучшую применимость средних арифметических характеристик осадков по сравнению с характеристиками медианы. Сходные результаты для данной территории, но на другом временном интервале получены в [98].

Пределы пространственного изменения статистик асимметрии от станции к станции, осредненных по 12 декадам, следующие (табл. 3.3).

Таблица 3.3 - Пространственное изменение статистик коэффициентов асимметрии

Характеристики осадков	\bar{A}	σ	min	abs(max)
N1	0,26-0,51	0,19-0,32	-0,09-0,11	0,94
N5	1,33-1,54	0,42-0,55	0,37-0,85	2,52
Q1	1,57-2,17	0,46-1,04	0,72-1,22	3,88
Q5	2,04-2,61	0,44-1,19	0,91-1,85	4,65

Для всех остальных характеристик осадков: N5, Q1 и Q5- асимметрия большая, так как $A > 1,0$ повсеместно. Причем, если для N5 и Q1- значения A примерно одинаковы, то для Q5 – они несколько больше. Большим значениям A соответствует и большие их среднеквадратические отклонения. Абсолютные максимумы растут по порядку от N1 к N5, Q1 и Q5 в пределах от 0,94 до 4,65. По минимальным значениям A также видно большое отличие от нормального закона у N5, Q1 и Q5, где $\min(A) > 1,0$ почти всегда, тогда как для N1 лишь два значения лежат в пределах от 0,25 до 0,50, а все остальные меньше 0,25. В основном все коэффициенты асимметрии положительны. Исключения составляют несколько случаев отрицательных минимальных значений для N1, что может быть связано с ограниченностью N1 с обоих концов: слева нулем, а справа 11 днями, хотя с другой стороны этого не наблюдается у N5.

В табл. П. 3, 4. приведены аналогичные статистики *коэффициента эксцесса*, по которым также можно видеть, что N1 имеет плосковершинное, а все остальные характеристики осадков – островершинное распределение плотности вероятности. Возрастание средних, сигм, минимальных и максимальных значений эксцесса идет в той же последовательности: от N1 к N5, Q1 и Q5. Черты распределения при временном и пространственном осреднении также не меняются. Так, пределы временного (от декады к декаде) изменения коэффициента эксцесса, осредненного по станциям, следующие (табл. 3.4).

Таблица 3.4 - Временное изменение статистик коэффициентов эксцесса

Характеристики осадков	$\bar{\epsilon}$	σ	min	abs(max)
N1	-0,65-(-0,13)	0,28-0,70	-1,27-(-0,77)	1,61
N5	0,66-3,32	0,90-3,17	-0,76-0,34	10,50
Q1	1,94-7,16	1,69-7,32	-0,76-0,47	24,02
Q5	3,30-10,43	2,56-8,85	-0,78-1,09	26,88

Пределы пространственного изменения (от станции к станции) коэффициента эксцесса, осреднённого по декадам, следующие (табл. 3.5).

Исходя из рассчитанных статистик для выбранных характеристик осадков, можно сделать вывод о том, что только N1, т.е. число дней с осадками больше или равно 0,1 мм, приближается к нормальному распределению.

Таблица 3.5 - Пространственное изменение статистик коэффициентов эксцесса

Характеристики осадков	$\bar{\varepsilon}$	σ	min	abs(max)
N1	-0,54-(-0,16)	0,33-0,59	-1,00-(-0,74)	0,88
N5	1,41-2,43	1,63-2,49	-0,76-(-0,08)	8,25
Q1	3,00-6,99	2,37-7,21	-0,57-1,18	20,06
Q5	5,08-9,40	2,99-9,52	0,02-2,30	27,79

При этом пространственное осреднение для каждой декады делает это приближение более тесным. Этот результат согласуется с выводами работы А.В. Дугласа и П. Дж. Энгельгарта [99]. Они получили, что частота выпадения осадков более предсказуема, чем их количество, хотя этот вывод относится к осадкам, больше или равным 0,10 дюйма, т.е. примерно 2,5 мм. Интересным в рассматриваемом случае является тот факт, что для исследуемых характеристик декадных осадков ни при временном, ни при пространственном осреднении, а также в распределениях исходных значений не отмечалось ни одного случая с $\bar{\varepsilon}$, равным минус 2, когда функция плотности распадается на две, т.е. имело бы место бимодальное распределение. Скорее всего, здесь сказывается декадное осреднение характеристик осадков. Происходит объединение в одну выборку осадков, формирующихся при разных аэросиноптических условиях (фронтальные и внутримассовые и пр.).

В табл. П. 5, 6. приведены аналогичные статистики *среднего значения* (\bar{X}), или нормы, характеризующие центры распределения. Однако это не всегда самые частые значения. Так, например, для суточного, а иногда даже месячного количества осадков норма почти никогда не наблюдается [24]. В этом случае

наиболее частым значением является мода, распределения которой будет рассмотрено далее. Пределы временного (от декады к декаде) изменения средних значений, осредненного по станциям, приведены в следующей таблице (табл. 3.6).

Таблица 3.6 - Временное изменение статистик средних значений

Характер- ки осадков	\bar{X}	σ	min	abs(max)	размах	A	Э
N1	2,57-4,50	0,27-0,53	1,74-3,84	5,44	0,87-1,61	-0,36-0,40	-1,48-0,25
N5	0,46-1,11	0,13-0,26	0,19-0,75	1,62	0,41-1,00	-0,34-1,88	-1,53-4,37
Q1	8,39-19,1	1,27-4,33	5,01-14,33	25,99	4,91-15,30	-0,30-1,89	-0,41-4,98
Q5	4,16-14,7	1,31-4,05	1,57-10,03	21,20	4,59-14,91	-0,26-2,34	-1,39-6,69

По территории для N1 осредненные средние значения средних \bar{X} колеблются от декады к декаде от 2,57 дней в первой декаде сентября до 4,50 в третьей декаде октября, то есть сентябрь по числу дней с осадками больше 0,1 мм наименее дождливый месяц в климатическом плане, что также подтверждается наличием здесь абсолютного минимума (1,74 дня).

Абсолютный максимум отмечается в третьей декаде октября (5,44 дня). Среднеквадратические отклонения меняются от 0,27 дней во второй декаде июля до 0,53 в первой декаде сентября. Размах во второй декаде июля достигает абсолютного минимума (0,87 дней), несмотря на то, что во всем июле (\bar{X}) имеет высокие значения, выше, чем во всех остальных декадах, за исключением третьей декады октября, и, когда отмечается абсолютный максимум (5,44 дня). Таким образом, можно сделать вывод о том, что октябрь и июль – устойчиво дождливые месяцы, а сентябрь – менее дождливый, зато в нем наибольшая изменчивость числа дней с осадками.

Асимметрия же для (\bar{X}) – малая и умеренная (от минус 0,36 до 0,40), эксцесс тоже не велик (от минус 1,48 до 0,25). По знаку половина декад - с левой, а половина – с правой асимметрией, т.е. равновероятны как положительные, так и отрицательные отклонения от (\bar{X}). Кроме того во всех

декадах, за исключением третьей декады августа и октября, распределение – плосковершинное.

Для N5 все статистики по значению меньше, чем для N1 за исключением асимметрии и эксцесса. Именно в этот период распределения резко отличаются от нормального закона, хотя в предшествующие декады близки к нему. Пределы пространственного изменения (от станции к станции) статистик средних значений, осреднённого по декадам, приведены в следующей таблице (табл. 3.7).

Таблица 3.7 - Пространственное изменение статистик средних значений

Характер- ки осадков	\bar{X}	σ	min	abs(max)	размах	A	Э
N1	3,00-3,85	0,43-0,59	1,92-3,32	4,68	1,36-2,34	-0,07-0,89	-1,10-1,20
N5	0,53-0,83	0,18-0,45	0,19-0,42	1,62	0,58-1,43	0,10-0,72	-1,24-(-0,02)
Q1	9,15-13,58	3,18-6,72	5,01-8,54	25,99	9,25-20,98	0,43-0,95	-1,39-1,35
Q5	5,43-8,94	2,84-6,46	1,57-3,87	21,20	7,98-19,63	0,19-0,93	-1,62-(-0,20)

Таким образом, получено, что для N1 (табл. П. 6.) осредненные по декадам средние значения колеблются от станции к станции от 3,00 дней на ст. Павлодар до 3,85 на ст. Петропавловск. Максимальные значения размаха (2,34 дня) и среднеквадратические отклонения (0,59 дней), а также абсолютный максимум (4,68 дня) отмечается на ст. Петропавловск. Асимметрия колеблется в пределах: от минус 0,07 до 0,89, причем на 4 станциях она – положительна, а на 3 станциях – большая. Эксцесс колеблется от минус 1,10 до 1,20. Асимметрия близка к нулю на двух станциях. На трех станциях распределение – плосковершинное, на двух – островершинное. Следовательно, получено, что временное осреднение N1 только на 40 % станций ведет к нормализации распределения. Здесь, конечно, может сказываться и то, что осреднение происходит при смещении летнего и осеннего сезонов.

Для N5 все статистики ненамного отличаются от N1. Данные приложений, характеризующие пространственное распределение статистик, позволяют понять, где именно происходят резкие колебания. Так, например, на

ст. Кокшетау отмечаются все экстремумы статистик \bar{X} : $\max(\sigma)=0,45$ дней; $\text{abs}(\min)=0,19$ дней; $\text{abs}(\max)=1,62$ дня; максимальный размах равен 1,43 дня. Таким образом, колебания N5 на этой станции от декады к декаде максимальны.

Соотношения между Q1 и Q5 (табл. П. 5, 6.) примерно такие же, как и между N1 и N5: все значения статистик для Q1 меньше чем для Q5, кроме асимметрии и эксцесса. При переходе от декады к декаде нарушение нормального закона отмечается для Q1 в двух последних декадах октября, а для Q5 со второй декады сентября до конца октября. При переходе от станции к станции – нормальность нарушается почти на всех станциях. Интересен тот факт, что в первом случае распределение в основном плосковершинное, а во втором – повсеместно – островершинное.

При рассмотрении изменений средних значений по станциям, как и для N5, но только для Q1 и Q5, почти все экстремумы, за исключением А и Э, отмечаются на ст. Кокшетау.

Рассмотрев изменения в пространстве и во времени статистик средних арифметических значений, можно высказать предположение, что на ст. Кокшетау находится какой-то климатический раздел временного изменения (от декады к декаде) средних значений характеристик осадков. Причиной наибольшей изменчивости осадков в этом районе может быть как рельеф местности, так и своеобразие развития синоптических процессов. Это дает основание для поиска каких-либо свойств циркуляции атмосферы над Кокшетау.

Среднеквадратические отклонения показывают разброс фактических данных около \bar{X} . Пределы временного (от декады к декаде) (табл. П. 7.) и пространственного (от станции к станции) (табл. П. 8.) изменения средних квадратических отклонений, осредненного по станциям, приведены в следующей таблице (табл. 3.8 и 3.9).

Таблица 3.8 - Временное изменение статистик средних квадратических отклонений

Характер-ки осадков	$\bar{\sigma}$	σ	min	abs(max)	размах	A	Э
N1	1,83-2,31	0,14-0,28	1,45-1,91	2,75	0,42-0,98	-0,85-0,74	-1,39-1,04
N5	0,73-1,15	0,11-0,23	0,44-0,98	1,57	0,41-0,76	-0,66-107	-1,02-1,40
Q1	8,19-19,46	1,13-4,68	4,74-15,73	24,78	4,69-15,64	-0,21-1,57	-1,28-3,75
Q5	7,18-18,50	1,35-4,33	3,88-15,49	24,21	4,84-14,74	-0,14-1,75	-1,58-4,52

Таблица 3.9 – Пространственное изменение статистик средних квадратических отклонений

Характер-ки осадков	$\bar{\sigma}$	σ	min	abs(max)	размах	A	Э
N1	1.89-2.25	0.13-0.24	1.40-1.93	2.67	0.46-0.95	-0.55-0.45	-0.91-3.32
N5	0.75-1.00	0.15-0.32	0.44-0.67	1.42	0.49-0.94	0.02-0.62	-1.42-0.70
Q1	9.91-13.42	3.42-6.81	4.74-7.49	24.78	9.99-20.04	0.38-0.93	-0.81-0.71
Q5	9.13-1.51	4.01-7.04	4.56-6.14	24.21	12.16-20.33	0.41-0.89	-1.07-0.09

таблиц 3.8 и 3.9 видно, что, для N1 временное и пространственное распределения $\bar{\sigma}$ мало отличаются друг от друга. Для N5 также временное и пространственное распределения мало отличаются друг от друга, как и для N1. Все статистики для N5 меньше, чем для N1, кроме асимметрии и эксцесса. Для Q1 и Q5 временные и пространственные характеристики распределения близки. Асимметрия в подавляющем большинстве случаев – положительна. На ст. Кокшетау отмечается наибольшее число экстремумов.

Медиана (Me) и мода (Mo). Так как были убеждены, что распределения выбранных характеристик осадков для станций Северного Казахстана далеки от гауссового, за исключением N1, то, казалось бы, есть смысл использовать структурные средние: медиану и моду, которые обычно и применяют для сильно асимметричных распределений. Расчет медианы особенно полезен, когда как уже отмечалось выше, нельзя ручаться за концы кривой плотности вероятности, так как Me от них не зависит в отличие от среднего. В общем случае медиана дает лучшую меру ожидания, чем среднее, потому еще, что

половина наблюдений находится с каждой стороны от нее. Исключение составляют случаи, когда половина фактических данных попадает в экстремальные градации, например, в случае без осадков, тогда ни \bar{X} , ни Me не показательны. Поэтому расчет медианы имеет смысл, если число случаев без осадков меньше половины [95]. В рассматриваемом случае это положение почти не соблюдается, но все-таки решено посмотреть на изменение статистик медианы и моды, осредненных по времени и пространству (табл. П. 9, 10.).

Мода, как известно, показывает наиболее часто встречающиеся значения случайной величины в соответствии с максимумом дифференциальной функции распределения. Рассчитывается она при крайне асимметричных распределениях, когда \bar{X} не является наиболее частой величиной. Расчеты показали, что как мода, так и медиана для N5 и Q5 почти во всех декадах и на всех станциях равны нулю. Исключение составил лишь июль для Q5, в котором Me отличается от нуля, но так как рассмотрен весь период с июля по октябрь, то нет смысла останавливаться на одном месяце. Так, для N5 в 50 % случаев отмечается $Me=0$ и в других 50 % $Me=1$, для моды число нулей составило 89 %. За то для Q5 в 100 % $Mo=0$. В табл. 3.10 приведены временные и пространственные статистики Me для N1 и Q1.

Таблица 3.10 - Временное и пространственное изменения статистик медианы

Характеристики осадков	\bar{Me}	$\sigma(\bar{Me})$	min	abs(max)	размах
временное изменение					
N1	2,47-4,53	0,46-0,74	3	6	3
Q1	5,18-13,23	1,38-4,39	1,8-7,9	24,0	5,7-16,1
пространственное изменение					
N1	2,67-3,75	0,60-0,79	2	5	2
Q1	6,26-9,97	2,29-5,20	2,6-5,6	19,3	7,1-15,2

Из таблицы 3.10 видно, что временные и пространственные значения Me для N1 примерно одинаковы. Если сравнить эти значения с пределами изменения средних арифметических (табл. 3.6 и 3.7), то можно видеть, что при

временном осреднении значения \bar{X} смещены в сторону больших значений, зато $\sigma(\bar{X})$ имеет не только более узкие пределы, но и меньшие значения, чем $\sigma(Me)$.

Таким образом, получено, что для числа дней с осадками справедливо неравенство $\sigma(\bar{X}) < \sigma(Me)$, и, следовательно, для N1 предпочтительнее применение среднего значения, чем медианы. Соответственно для Q1 при пространственном осреднении все статистики Me , за исключением среднего, больше, чем при временном. Сравнивая их с пределами изменения средних значений Q1, можно отметить, что при временном осреднении область Q1 лежит гораздо ниже области своей Me . О среднеквадратических отклонениях медианы говорить не приходится, т.к. они одного порядка с самой Me . В отличие от N1 все экстремальные значения для Q1 несравнимы – они на порядок больше у Me , чем у \bar{X} . В пространственном распределении \bar{X} и Me отмечается аналогичная картина. Значения моды (табл. П. 11.), как уже отмечалось, удалось рассчитать только для N1 (табл. 3.11).

Таблица 3.11 - Временное и пространственное распределение моды для N1

Характеристики осадков	\bar{M}_0	$\sigma(M_0)$	min	abs(max)	размах
временное изменение					
N1	1,60-4,33	0,92-1,63	0-3	7	3-5
пространственное изменение					
N1	2,33-3,67	1,08-1,73	1-2	7	3-6

Из таблицы 3.11 видно, что закономерности соотношений временного и пространственного распределения статистик сохраняются: средние в пространственном распределении колеблются в меньших пределах, а их изменчивость – в больших. Сравнивая теперь статистики моды с аналогичными характеристиками средних арифметических и медианы, можно отметить, что при временном осреднении M_0 колеблется в несколько меньших, но вполне сравнимых пределах, как со средним значением, так и с медианой. Среднеквадратическое отклонение у M_0 самое большое, а у среднего

арифметического – самое маленькое, т.е. это еще раз подтверждает лучшую применимость \bar{X} . Экстремумы у M_0 больше, чем у \bar{X} и M_e . Для пространственного осреднения статистик моды, медианы и среднего отмечаются такие же закономерности, как и для временного.

Максимальные значения. Статистики максимумов (табл. П. 12, 13.) совпадают со статистиками размаха, так как минимальное значение не может быть меньше нуля. В общем случае абсолютные максимумы и минимумы встречаются редко, поэтому часто вычисляются средние максимумы и минимумы, которые встречаются ежегодно [96]. Экстремумы же нужной вероятности задаются, как правило, потребителем. Поэтому, сделанное двухвариантное осреднение само по себе может представлять интерес. Пределы временных и пространственных распределений максимальных значений приведены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 - Временное и пространственное распределение максимальных значений

Характеристик и осадков	\overline{Max}	$\sigma(max)$	abs(max)	размах(max x)	А	Э
временное изменение						
N1	7,00-9,67	0,74-1,30	11	4	-0,49-0,30	-1,97-1,89
N5	2,93-4,73	0,51-1,64	9	6	-1,20-1,58	-1,78-3,14
Q1	36,29-87,41	7,59-29,85	151,0	101,2	-0,37-2,06	-1,08-5,02
Q5	31,29-80,14	7,88-27,31	129,8	24,2-101,5	0,02-1,93	-1,19-5,07
пространственное изменение						
N1	7,33-9,08	0,75-1,07	11	4	-0,59-1,31	-0,87-2,81
N5	3,00-3,83	0,87-1,31	6	4	-0,41-0,76	-1,35-0,23
Q1	46,63-68,96	18,80-40,05	151,0	128,1	0,68-1,31	-0,63-1,45
Q5	42,95-63,44	20,25-37,67	148,0	127,9	0,63-1,34	-0,59-1,58

И так, как видно из этих таблиц, для пространственного распределения N1 имеют место несколько большая изменчивость и большие отличия от нормального закона. Для N5 над ст. Кокшетау статистики достигают своих экстремумов, чего не наблюдалось для N1. Для Q1 по этим данным видно, что

осреднение максимумов по пространству дает большие значения декадных средних, а осреднение по времени – большие изменчивости по станциям. Наибольшее число экстремумов отмечается на ст. Астана. Временное и пространственное осреднение для Q5 сохраняет те же черты, что и для Q1. Кроме того, здесь также все экстремумы отмечаются в Астане. Но судя по тому, что все они близки между собой, то очевидно, что максимумы Q1 обусловлены максимумами Q5. Особый интерес для потребителей представляют абсолютные максимумы осадков, которые дают информацию о возможных экстремумах на одной из 5 станций в любой декаде с июля по октябрь. Так, например, число дней с осадками больше или равных 0,1 мм может достигать 11 дней в декаде, т.е. каждый день может идти моросящий дождь. Такие ситуации за 57 лет имели место только в третьих декадах июля, августа и октября на станции Петропавловск. Для количества осадков, а не для числа дней с ними, отмечаются другие закономерности. Так, наибольшее количество осадков (151,0 мм) за декаду в течение 57 лет выпадало в первой декаде августа и только на ст. Астана. Этот максимум обеспечивался более сильными осадками, т.е. теми, которые превышали 5,0 мм. Размах дает представление о размазанности распределения, но мало что говорит о его поведении, хотя для некоторых практических приложений именно он и представляет наибольший интерес.

Квартили – структурные характеристики рассеяния вариационного (ранжированного) ряда, разбивающие его на четыре равные части и показывающие, что вероятность определенных значений будет не превышать 25, 50, 75 %. Квартили представляют собой частный случай квантилей, которые, как уже отмечалось, для осадков более показательны, чем другие статистики. Поэтому здесь рассчитывались верхние и нижние их значения, и разность между ними, называемая внутриквартильным размахом, шириной, или вероятным отклонением. Сами квантили, вообще говоря, являются обобщенным понятием медианы. Внутри и вне квартильной ширины находится по 50 % всех наблюдений. Численные характеристики временного и

пространственного распределения статистик верхних и нижних квартилей, и размаха приведены в табл. П. 14-19. Значения необходимых квартилей и их изменения определяются исключительно, исходя из интересов потребителя, так как эти статистики находят наибольшее практическое применение. В силу сказанного делать здесь подробный комментарий этих таблиц не имеет смысла, поскольку значение нужной обеспеченности надо просто искать в самих таблицах. Можно отметить только один интересный факт. Так, в засушливых районах среднее количество осадков может быть больше, чем верхняя квартиль, т.е. осадки, могут выпадать реже, чем в одном году из четырех [95]. За 57 рассмотренных лет таких случаев не отмечалось. Следовательно, можно сделать вывод о том, что с точки зрения статистической оценки декадного числа дней с осадками и количества осадков за период с июля по октябрь нельзя считать, что зерносеющие области северной половины Казахстана лежат в засушливой зоне.

3.2 Загрязняющие вещества в осадках, как источник влияния на почвы и растительность

В последние годы проблеме загрязняющих веществ в осадках, уделяется большое внимание во всём мире, но в Казахстане такие работы практически не проводились, несмотря на их актуальность. Поэтому в данной работе уделено значительное внимание, прежде всего общей характеристике химизма выпадающих осадков. Ожидается, что на этой основе можно будет затем более глубоко рассмотреть отдельные вопросы практического приложения результатов. Уровень антропогенного воздействия прямо или косвенно связан с метеорологическими условиями и изменением климата, и представляло интерес хотя бы на качественном уровне оценить такое влияние. Зоны рискованного земледелия особенно чувствительны к антропогенным воздействиям и изменению климата, поскольку системы окружающей среды находятся в неустойчивом равновесии и небольшие, но продолжительные воздействия

могут привести к необратимым последствиям. Понятно поэтому, что анализ возможных изменений климата, динамика ЗВ в осадках в регионе Северного Казахстана имеет не только научный, но и практический интерес.

Территория расположена в центре Евразии, и этим обуславливается большой годовой ход температуры и относительно малое количество осадков из-за большой удалённости от океанов, в первую очередь от Атлантического океана. Географическое положение способствует также тому, что при преобладающем западно-восточном переносе территория оказывается под воздействием выбросов загрязняющих веществ предприятиями Южного Урала (Россия), а при переносе с южной составляющей – под воздействием выбросов собственных предприятий промышленного региона Центрального Казахстана, расположенных довольно близко. Возможны также и другие траектории выноса ЗВ на регион. Значимые собственные источники выбросов в Северном Казахстане имеются только в Павлодаре и Павлодарской области. В перечень станций, данные которых проанализированы, включена также Караганда, расположенная немного южнее региона Северного Казахстана, но выбросы предприятий которой заметно влияют на ситуацию.

В данном разделе были рассмотрены загрязняющие вещества в осадках, как источника влияния на почву и растительность. Было изучено распределение следующих макрокомпонентов: значение рН, массовые концентрации макрокомпонентов: сульфат-ионов, нитрат-ионов, хлорид-ионов, гидрокарбонат-ионов, ионов аммония, натрия, калия, кальция и магния в осадках. В атмосферных осадках определялся также вклад сульфатов морского происхождения с использованием данных о содержании катионов натрия. Основным кислотообразующим анионом был взят SO_4^{2-} :

$$|SO_4^{2-}|_{изб} = |SO_4^{2-}|_{общ} - 0,25|Na^+| \quad (3.1)$$

где, $|SO_4^{2-}|_{изб}$ и $|SO_4^{2-}|_{общ}$ – содержание «избыточных», т.е. не морского происхождения сульфатов и общих сульфатов соответственно.

$[Na^+]$ – содержание натрия.

Для анализа условий закисления были рассчитаны отношения эквивалентных концентраций катионов

$$K = (Ca^{2+} + Mg^{2+} + NH_4^+ + Na^+) \quad (3.2)$$

и анионов:

$$A = (SO_4^{2-} + NO_3^-) \quad (3.3)$$

Затем было найдено отношение К/А. Если величина этого отношения равна или больше единицы, то происходит полная нейтрализация кислотности анионов сильных кислот и угрозы закисления поверхностных вод и почвы нет. В противном случае, чем меньше единицы величина отношения, тем больше вероятность закисления.

На конференции по проблемам кислотности окружающей среды было рекомендовано считать, что закисление поверхностных вод возможно, если количество выпадающей серы с осадками превышает 0,5 г/м² в год [99]. Поэтому в работе выполнены расчёты величины выпадающей серы, содержащейся в соединениях, на единицу площади по станциям региона как в целом за год, так и за вегетационный период. Распределение основных веществ в осадках представлено в таблице 3.13.

Таблица 3.13 - Содержание анионов и катионов в атмосферных осадках на исследуемой территории

Станции	Осадки, мм	SO_4^{2-}	Cl^{2-}	NO_3^-	HCO_3^-	NH_4^+	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
		анионы					катионы			
Костанай	308,9	21,10	9,62	1,76	15,93	1,93	4,91	2,73	4,25	5,96
Петропавловск	372,0	7,91	6,29	0,90	6,12	0,80	3,00	1,34	1,26	3,32
Боровое	359,4	3,67	1,97	1,55	3,15	0,50	1,34	0,69	0,55	1,34
Щучинск	375,5	10,77	3,43	1,24	11,43	1,09	2,62	1,61	2,08	3,48
Астана	328,7	19,39	11,62	1,78	15,63	0,99	4,37	4,35	3,33	6,96
Караганда	373,7	9,54	4,55	1,36	5,50	0,65	3,01	0,63	1,19	3,19
Ертис	281,4	5,37	2,15	1,25	7,59	0,31	1,30	0,98	1,14	2,70
Павлодар	293,8	20,04	8,86	2,06	9,95	0,86	6,91	1,90	2,64	5,84

Из анионов наибольшие средние концентрации имеет анион SO_4^{2-} . При этом максимум концентраций наблюдается в Костанаяе, 21,10 мг/л. В Павлодаре и Астане концентрации составляют 20,04 и 19,39 мг/л соответственно, а минимум - 3,67 мг/л, имеет место в курортной зоне региона, где промышленных предприятий нет.

Концентрации анионов HCO_3^- несколько ниже, чем SO_4^{2-} , но они тоже высокие. При этом они неплохо согласуются с пространственным распределением SO_4^{2-} , оставаясь на всей рассматриваемой территории несколько ниже, чем концентрации SO_4^{2-} . Только в пунктах Ертис и Щучинск концентрации HCO_3^- выше, чем концентрации SO_4^{2-} . Пространственное распределение анионов Cl^{2-} и NO_3^- следуют за распределением SO_4^{2-} и HCO_3^- .

Из катионов самые высокие концентрации имеют Ca^{2+} и Na^+ , при этом различия в величинах концентраций не велики (рис.3.1 и 3.2).

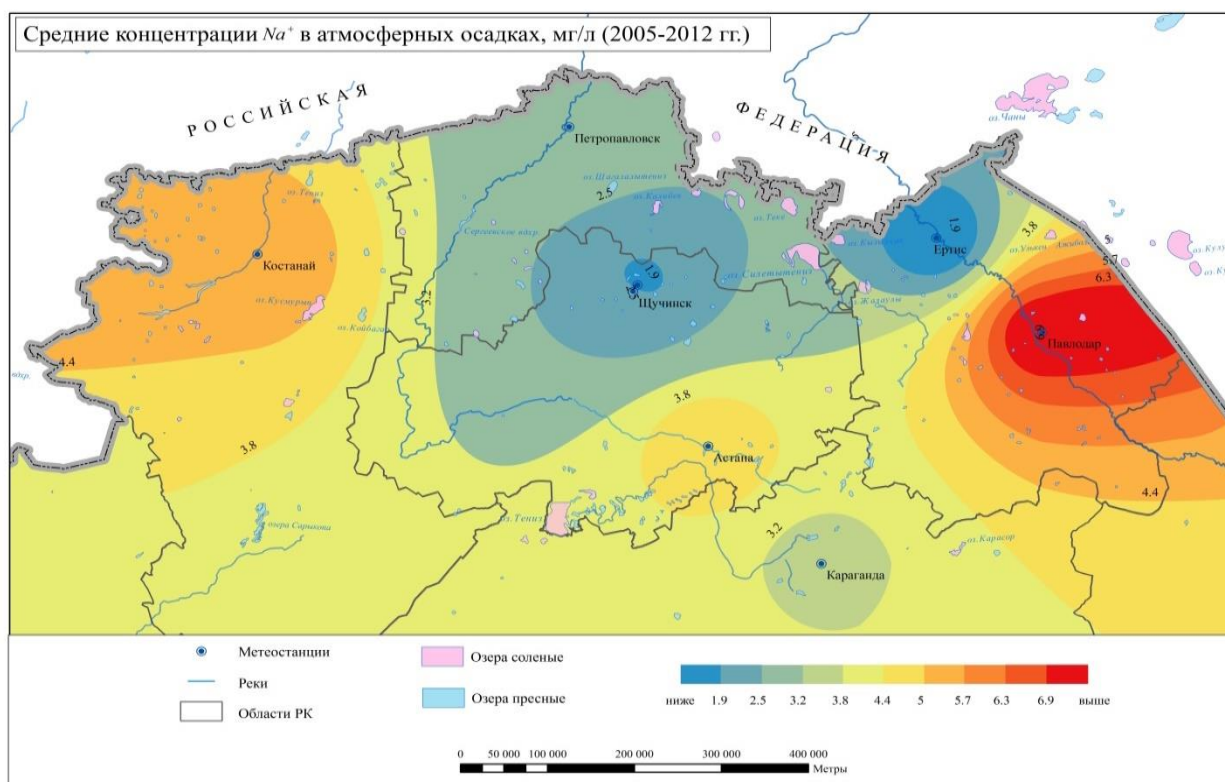


Рис.3.1 Средние концентрации Na^+ в атмосферных осадках, мг/л

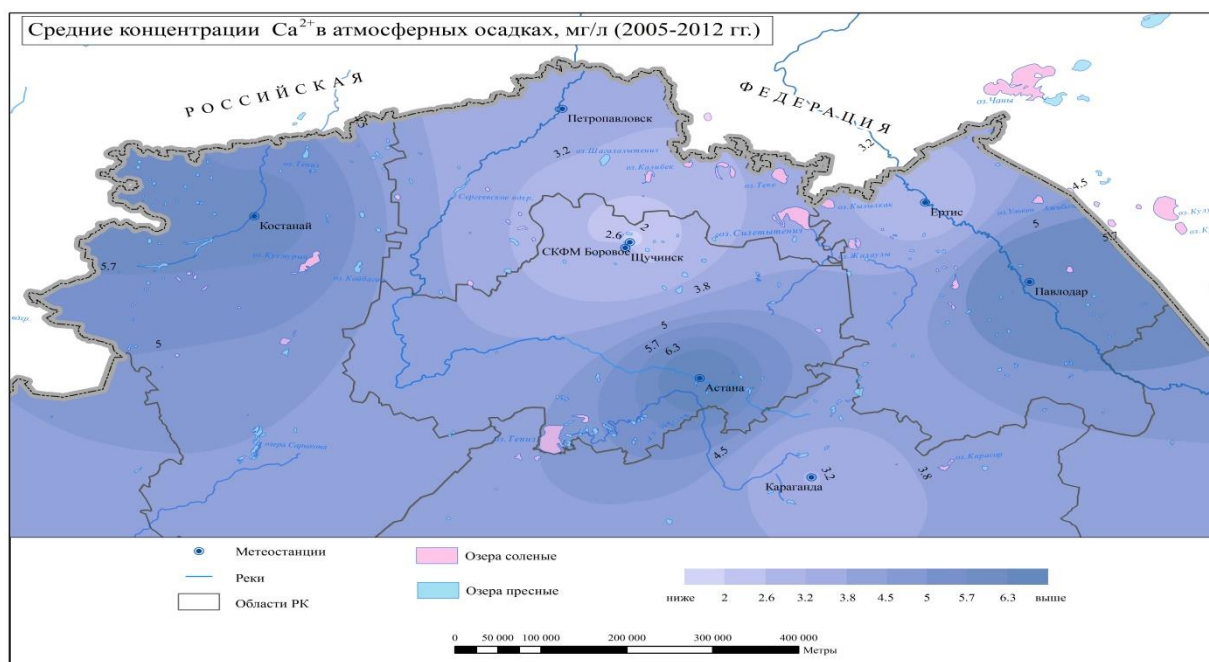


Рис.3.2 Средние концентрации Ca^{2+} в атмосферных осадках, мг/л

Только в Павлодаре концентрации Na^+ превышают концентрации Ca^{2+} , а в Боровом они равны и минимальны в регионе, 1,34 мг/л. Концентрации Mg^{2+} и K^+ следуют за пространственным распределением Ca^{2+} и Na^+ , но их концентрации заметно ниже.

Общей для пространственного распределения анионов и катионов является достаточно выраженная закономерность, согласно которой уровню концентраций одного из веществ соответствуют такие же уровни концентраций всех других веществ. Это указывает на высокое сходство условий формирования всех веществ, наблюдающихся в конкретном пункте.

Таблица 3.14 – Водородный показатель pH атмосферных осадков

Станции	2005	2006	2007	2008	2009	среднее
	pH					
Костанай	6,43	6,30	6,11	5,99	6,17	6,20
Петропавловск	6,01	5,92	5,91	5,92	6,13	5,98
Боровое	5,82	5,43	5,69	5,65	5,94	5,73
Щучинск	6,21	5,81	5,69	5,75	5,94	5,88
Астана	6,66	6,36	6,50	6,55	6,66	6,55
Караганда	6,06	5,95	5,91	5,97	6,23	6,02
Ертис	6,33	5,80	5,96	5,89	6,40	6,08
Павлодар	6,20	6,09	5,95	6,05	6,33	6,12

В таблице 3.14 приведены ежегодные величины водородного показателя осадков и средние за пять лет. Можно видеть, что средние за год величины рН колеблются в пределах от 5,43 до 6,66, а средние за пять лет – 5,73 до 6,55. Естественно предположить, что в отдельные случаи выпадения осадков величина рН может быть, как ниже, так и выше приведённых в таблице 3.14 средних величин. К сожалению, данными о кислотности отдельных осадков мы не располагаем. В среднем же, однако, величины рН в регионе находятся в пределах от нейтрального до слабощелочного типа [64-66].

Далее была рассмотрена динамика рН в течение вегетационного периода (табл. 3.15).

Таблица 3.15 - Динамика рН в течение вегетационного периода

Станции	Месяцы				среднее	ΔрН
	май	июнь	июль	август		
Костанай	6.25	6.33	6.08	6.03	6.17	0.30
Петропавловск	6.21	6.15	5.96	5.94	6.06	0.27
Боровое	5.54	6.09	5.82	5.92	5.84	0.55
Щучинск	5.64	6.07	5.99	6.21	5.98	0.57
Астана	6.72	6.53	6.36	6.70	6.58	0.36
Караганда	6.11	5.89	5.89	5.79	5.92	0.32
Ертис	6.02	6.06	6.05	6.04	6.04	0.04
Павлодар	6.19	5.97	5.97	6.24	6.09	0.27
Сумма	48.68	49.09	48.12	48.87	48.68	2.68
Среднее	6.09	6.14	6.02	6.11	6.09	0.34

Средняя величина рН в регионе в течение вегетационного периода составляет 6,09 при пространственной изменчивости в пределах от 0,04 до 0,57. При этом максимальная изменчивость наблюдается там, где величины рН наименьшие (табл. 3.15).

В [27, 29] и др. предложен метод по расчёту избыточных, то есть неморских сульфатов в осадках с использованием данных по натрию. Сам метод расчетов описан выше. Известно, что антропогенное закисление осадков обусловлено растворением в каплях облаков и осадков «избыточных»

сульфатов, т. е. сульфатов неморского происхождения. Если бы избыточных сульфатов не было, то не было бы и никакого закисления. Такие сульфаты могут иметь биогенное, терригенное или антропогенное происхождение. Однако в большинстве случаев в промышленных районах сульфаты имеют антропогенное происхождение. По этой причине они представляют особый интерес. Рассмотрим результаты расчётов (табл. 3.16).

Таблица 3.16 - Содержание "избыточных" сульфатов в осадках в вегетационный период (мг/л)

Месяцы	Астана	Боровое	Щучинск	Караганда	Костанай	Павлодар	Петропавловск
	$SO_4^{2-} - 0.25Na^+$	$SO_4^{2-} - 0.25Na^+$	$SO_4^{2-} - 0.25Na^+$	$SO_4^{2-} - 0.25Na^+$	$SO_4^{2-} - 0.25Na^+$	$SO_4^{2-} - 0.25Na^+$	$SO_4^{2-} - 0.25Na^+$
май	18,68	4,43	10,30	9,21	19,91	14,50	15,74
июнь	15,00	3,60	9,40	9,00	18,10	16,70	7,46
июль	9,69	1,74	7,50	6,64	8,86	8,41	6,82
август	18,02	1,91	7,97	15,11	13,33	15,09	4,89
сумма	61,39	11,68	35,17	39,96	60,20	54,70	34,91
среднее	15,35	2,92	8,79	9,99	15,05	13,68	8,73

Из таблицы 3.16 можно видеть, что среднее за вегетационный период содержание избыточных сульфатов существенно изменяется (2,92-15,35 мг/л) по рассматриваемой территории Северного Казахстана.

Межгодовая изменчивость сульфатов велика (табл. 3.17).

Таблица 3.17 - Изменчивость "избыточных" сульфатов

Станции	Месяцы							
	май		июнь		июль		август	
	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.
Астана	29.54	8.33	22.64	11.5	15.24	6.48	47.75	6.44
Боровое	10.19	1.42	7.99	0.21	4.76	0.48	3.86	0.57
Щучинск	17.42	0.76	16.22	0.68	12.24	1.9	19.05	0.73
Караганда	13.95	7.2	17.92	5.35	16.3	2.23	51.91	1.59
Костанай	59.42	5.92	27.61	11.78	15.03	6.51	17.05	6.28
Павлодар	26.94	7.14	34.42	7.16	11.25	4.29	21.26	6.79
Петропавловск	38.6	3.05	14.36	4.8	9.54	3.81	7.32	2.73

Наименьшие и наибольшие значения избыточных сульфатов, вычисленные за семилетний период для четырёх месяцев вегетационного периода, различаются от двух до десяти раз.

В то же время имеет место хорошая обратная зависимость между количеством осадков, выпавших за месяц, и концентрациями «избыточных» сульфатов (рис. 3.3).

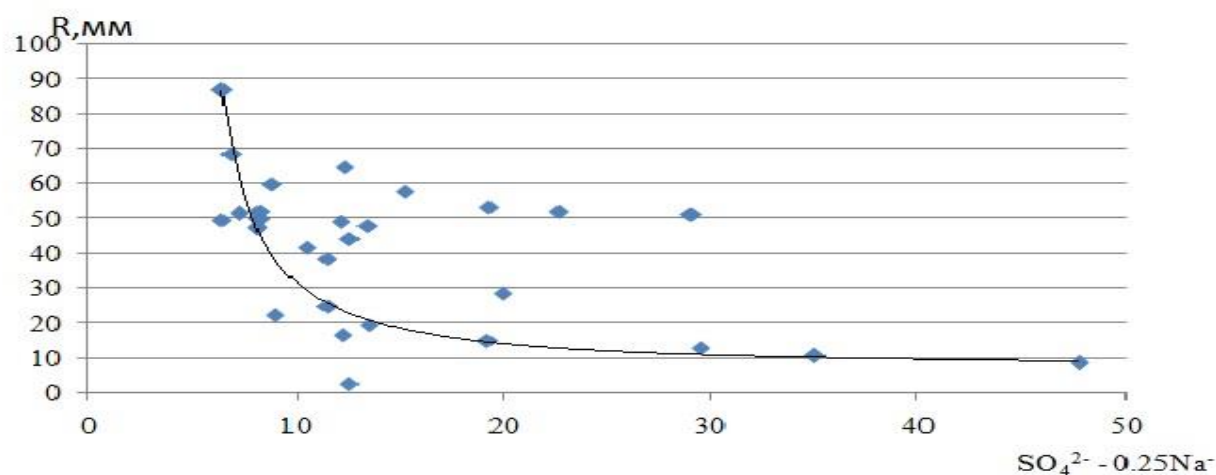


Рис. 3.3 Количество выпавших осадков и концентрации «избыточных» сульфатов

В большинстве случаев (до 70 %) соблюдается правило, что экстремально высоким концентрациям соответствует экстремально низкое количество осадков в данном месяце, а экстремально низким концентрациям — экстремально высокое количество осадков. В остальных случаях, видимо, определяющим является направление, откуда поступает воздушная масса, и какое количество загрязняющих веществ содержится в облаках и под ними. Сходные результаты получены в [28].

Интересно временное изменение концентраций избыточных сульфатов в течение вегетационного периода. Наибольшие концентрации имеют место на всех станциях в мае, которые затем понижаются до минимума в июле, а затем снова несколько возрастают в августе (табл. 3.16). Некоторое исключение наблюдается в Петропавловске, где понижение избыточных сульфатов продолжается и в августе.

Был произведен расчет количество выпадающей серы в нескольких вариантах: в целом за год, за вегетационный период. В таблице 3.18 представлены результаты расчётов количества серы, выпадающей в течение года.

Таблица 3.18 - Количество серы и аммонийного азота, выпадающих с осадками

Станции	Анионы, мг/л				Сера, S		
	SO_4^{2-} мг/л	NO_3^- мг/л	SO_4^{2-} мг/м ²	SO_4^{2-}/NO_3^-	S, г/м ²	S, кг/га	S, т/км ²
Костанай	13.38	4683.00	1.47	9.10	1.54	15.40	1.54
Петропавловск	7.51	2628.50	1.01	7.44	0.87	8.70	0.87
Боровое	2.85	997.50	0.64	4.45	0.33	3.30	0.33
Щучинск	9.47	3314.50	0.96	9.86	1.09	10.90	1.09
Астана	13.17	4609.50	1.38	9.54	1.52	15.20	1.52
Караганда	9.33	3265.50	1.06	8.80	1.08	10.80	1.08
Ертис	6.15	2152.60	1.25	4.92	0.71	7.10	0.71
Экибастуз	14.16	4956.00	1.14	12.42	1.64	16.40	1.64
Павлодар	14.77	5169.50	1.55	9.53	1.71	17.10	1.71

Из анализа таблицы можно видеть, что содержание серы, выпадающих с осадками на рассматриваемой территории Северного Казахстана изменяется от 0,33 (ст. Боровое) до 1,71 г/м² в год (ст. Павлодар). Максимальные величины содержания серы наблюдаются в промышленных районах региона.

Кроме сульфатов важным кислотообразующим элементом являются нитраты. Согласно той же таблице 3.18 нитраты составляют около 10 % от содержания сульфатов в регионе. Было рассчитано отношение сульфатов к нитратам, чтобы уточнить их роль. Если это отношение больше единицы, то преобладает роль сульфатов, а если меньше, то преобладает роль нитратов. Из анализа таблицы можно видеть, что только в районах станций Боровое и Ертис отношение меньше пяти. На остальных станциях оно выше и достигает или превышает десять. Следовательно, роль нитратов в закисляющем воздействии осадков второстепенна.

Нейтрализующими свойствами по отношению к сульфатам являются катионы кальция и натрия. Суммарное содержание этих катионов в осадках только на станции Боровое ниже 1 т/км², на всех других станциях оно выше (табл. 3.19).

Таблица 3.19 - Суммы ионов и нейтрализующих катионов кальция и натрия в годовом количестве осадков

Станции	Сумма ионов, мг/л	Ca ²⁺ , мг/л	Na ⁺ , мг/л	Ca ²⁺ , г/м ²	Na ⁺ , г/м ²	Ca ²⁺ , т/км ²	Na ⁺ , т/км ²
Костанай	68.19	5.96	4.91	2.33	1.92	2.3	1.92
Петропавловск	30.94	3.32	3	1.18	1.07	1.18	1.07
Боровое	14.76	1.34	1.34	0.42	0.42	0.42	0.42
Щучинск	36.75	3.48	2.62	1.15	0.87	1.15	0.87
Астана	68.42	6.96	4.37	2.38	1.49	2.38	1.49
Караганда	29.62	3.19	3.01	1.03	0.98	1.03	0.98
Ертис	22.79	1.3	2.7	0.37	0.77	0.37	0.77
Экибастуз	33.97						
Павлодар	59.42	5.84	6.91	1.56	1.85	1.56	1.85

Максимальные концентрации катионов кальция и натрия имеют место на станциях Костанай, Павлодар и Астана, на этих же станциях отмечается и самая высокая сумма ионов.

Совместный анализ сульфатов (табл. 3.18) и нейтрализующих катионов (табл. 3.19) показывает, что суммарное содержание нейтрализующих катионов на всех станциях превышает содержание сульфатов серы. Видимо, этот фактор и является основным в сдерживании процесса закисления, несмотря на высокое содержание сульфатов в осадках.

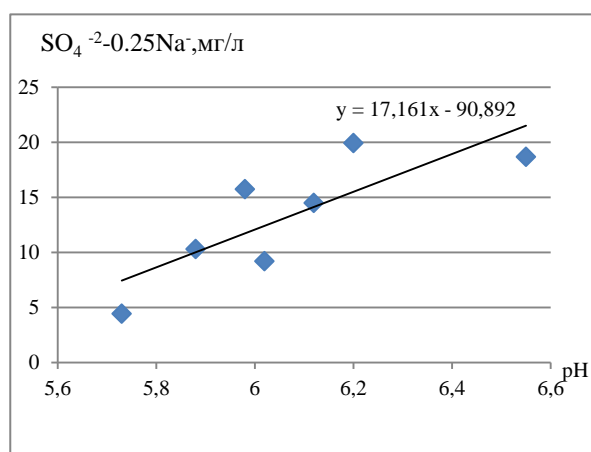
Отношение нейтрализующих катионов к анионам имеет выраженный временной ход в вегетационный период (табл.3.20).

Можно видеть, что в среднем по региону оно растёт от мая к июлю, а затем уменьшается в августе. В то же время динамика концентраций $SO_4^{2-} - 0.25Na^+$ имеет обратный временной ход с максимумом в апреле и минимумом в июле (табл. 3.16).

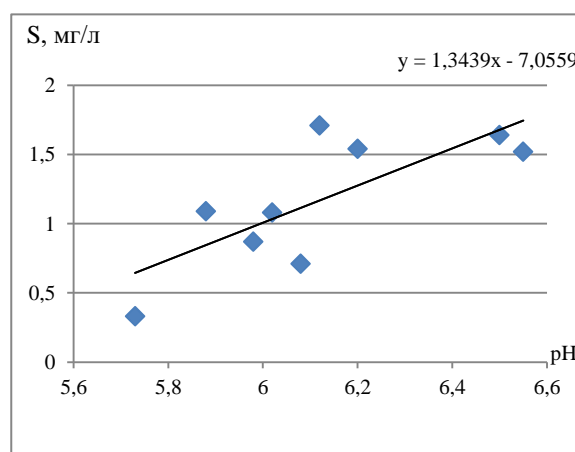
Таблица 3.20 - Распределение отношения К/А для месяцев вегетационного периода

Станции	Месяцы				Год	Число месяцев	Число месяцев К/А>1	Число месяцев К/А<1
	май	июнь	июль	август				
Костанай	0.85	0.88	1.07	0.92	0.93	40	13	27
Петропавловск	0.86	1.38	1.43	1.11	1.19	30	13	17
Боровое	0.93	1.31	0.98	0.86	1.02	40	18	22
Астана	0.98	1.26	1.07	0.86	1.04	40	23	17
Караганда	0.74	0.81	0.88	0.74	0.79	39	6	33
Павлодар	0.74	0.68	0.68	0.68	0.7	32	0	32
Сумма	5.1	6.32	6.11	5.17	5.67	221	73	148
Среднее	0.85	1.05	1.02	0.86	0.95	36,8	12,1	24,7

Сравнивая эти величины со средней величиной рН для региона (табл. 3.15), можем видеть, что в четырёх случаях время максимума избыточных ионов и минимальной величины рН совпадали, а в остальных трёх случаях они не совпадали. Высоким концентрациям $SO_4^{2-} - 0.25Na^+$ в значительной мере соответствуют низкие величины рН, однако отрицательной корреляции между содержанием серы в осадках и величиной рН всё же не просматривается (рис.3.4).



а)



б)

Рис. 3.4 - Зависимость величины рН от содержания (а) $SO_4^{2-} - 0.25Na^+$ и (б) серы в осадках

При отсутствии анионов, способствующих закислению, дождевая вода находится в равновесном состоянии, рН которой равна 5,6. Чем больше сульфатной серы в осадках, тем ниже должна быть рН, т.е. тем кислее осадки. Как видно из таблицы 3.20, что такая зависимость по сути отсутствует. Более того, с увеличением концентрации серы величина рН даже несколько увеличивается.

Из всего сказанного о связи содержания серы и величиной рН видно, что наши данные [37], изложенные выше, согласуются с рядом обстоятельных исследований проблемы [28]. Однако механизм закисления пока не ясен.

3.3 Влияние режима осадков и химического состава на урожайность зерновых культур

Сельское хозяйство – сложная агроэкосистема, функционирующая в природной среде, и от того, как она учитывает природные условия, зависят «здоровье» почвы, качество вод, производимой продукции и в конечном итоге условия жизни человека. Применяемые системы земледелия во многих случаях не обеспечивают рационального использования местных почвенно-климатических ресурсов, не способствуют улучшению воспроизводства плодородия почв, сохранению чистоты окружающей среды и обеспечению биологической полноценности получаемой продукции.

При оценке влияния атмосферных осадков и климатических факторов, которые оказывают на сельскохозяйственное производство, необходимо учитывать требования сельскохозяйственных культур на различных фазах его развития. Это может позволить определить степень риска опасных для сельского хозяйства явлений, т. е. позволит определить, насколько климат рассматриваемого региона соответствует требованиям производства.

В условиях современного изменения климатического режима, которые определяются как природными факторами, так и хозяйственной деятельностью человека, могут оказывать существенное воздействие на различные процессы,

влияющие на растительный и почвенный покров. Наблюдаемые изменения климата влияют как на урожайность, так и на ее характеристики, например, межгодовые амплитуды урожайности. Колебания урожайности, как во времени, так и в пространстве определяется характером изменчивости структуры урожая.

В данной главе величина урожая сравнивается режимом осадков в вегетационный период. Урожайные годы, в основном, характеризуются наиболее засушливым предшествующим годом, осадков выше нормы за зимний период, повышенным увлажнением почвы весной и высокой влагообеспеченностью вегетационного периода. Неурожайные годы в большинстве случаев характеризуются осадками ниже нормы, сопровождающимся засухами и, вследствие этого слабым развитием растений.

Среди ранних зерновых культур, возделываемых в Северном Казахстане, ведущее место принадлежит яровой пшенице. Высокая продовольственная ценность яровой пшеницы и сравнительно невысокие требования к условиям климата, обеспечили этой культуре широкое распространение, на большей части территории Казахстана.

Рассматривается связь между атмосферными осадками и урожайностью зерновых культур Северного Казахстана за вегетационный период 2003-2012 гг. (рис.3.5).

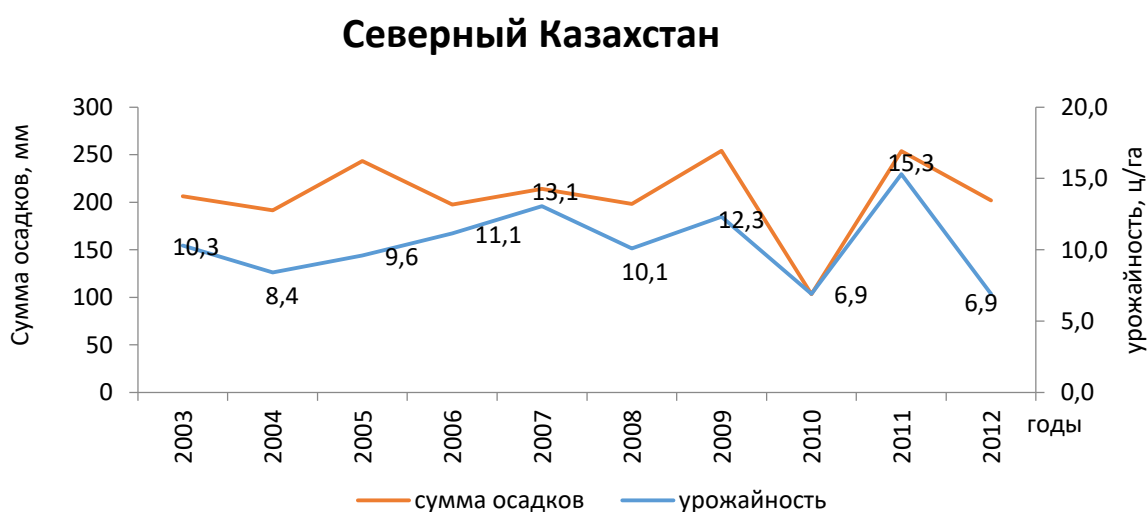


Рис 3.5 Сумма осадков (мм) за вегетационный период и годовая урожайность (ц/га) зерновых культур

Анализ рисунка показывает, что за рассматриваемый период 2003-2012 гг. урожайность колеблется от 6,9 до 15,3 ц/га. Следует отметить, что низкая урожайность, в основном, наблюдалась в годы с малыми атмосферными осадками (2010, 2012 гг.) и наиболее высокая в годы с обильными осадками (2011г.). Наблюдается также, некоторая периодичность, например, средний по урожаю 2006 год, сменяет сравнительно урожайный год 2007 (13,1 ц/га).

В 2008 году небольшое снижение урожайности, затем 2009 году (12,3 ц/га) повышение, после которого в 2010 году, вследствие засушливости в вегетационный период наблюдаются минимальные значения урожайности зерновых культур в регионе (6,9 ц/га). В 2011 году отмечается наиболее высокий урожай зерновых, при котором средняя урожайность составила 15,3 ц/га, что объясняется обильными осадками в период вегетации в рассматриваемом году.

В Северном Казахстане количество осадков и динамика их распределения в течение вегетационного периода является основным фактором урожайности сельскохозяйственных культур.

За период с 2003 по 2012 годы суммы осадков за вегетационный период, были наиболее высокими, в 2009 и 2011 годы (254 мм), а в 2010 году выпало наименьшее количество осадков (103 мм), что сказалось на урожайности.

Таким образом, в Северном Казахстане за последние десятилетия в вегетационный период вследствие засушливости 2010 году (103 мм), наблюдалась минимальная урожайность (6,9 ц/га) зерновых культур, а в 2011 году отмечается наиболее высокий урожай 15,3 ц/га зерновых, что объясняется обильными осадками (254 мм) в период вегетации.

Зависимость урожайности большинства культур от количества и сроков выпадения осадков наиболее заметна в районах недостаточного увлажнения, особенно сильно она проявляется у засухонеустойчивых сортов. Наиболее чувствительны к засушливым явлениям яровые зерновые культуры в период

выход в трубку – цветение, который в большинстве случаев наблюдается в июне.

Наибольшая потребность в водоснабжении и доступных питательных веществ у яровой пшеницы проявляется в период от кущения до колошения, когда (в фазе выхода в трубку) закладываются органы плодоношения, и в период от цветения до молочной спелости, когда происходит формирование самого зерна. Отсутствие продуктивной влаги в почве в эти ответственные периоды водного питания нередко приводит не только к снижению урожая, но и к его гибели.

Рассматривая динамику количества осадков 2011 года, который считался урожайным годом (рис.3.6), можно увидеть, что самое максимальное количество осадков за вегетационный период выпало именно в июне месяце (69,1 мм), которое благоприятно сказалось в период в развития «выход в трубку – цветение», на яровые зерновые культуры.

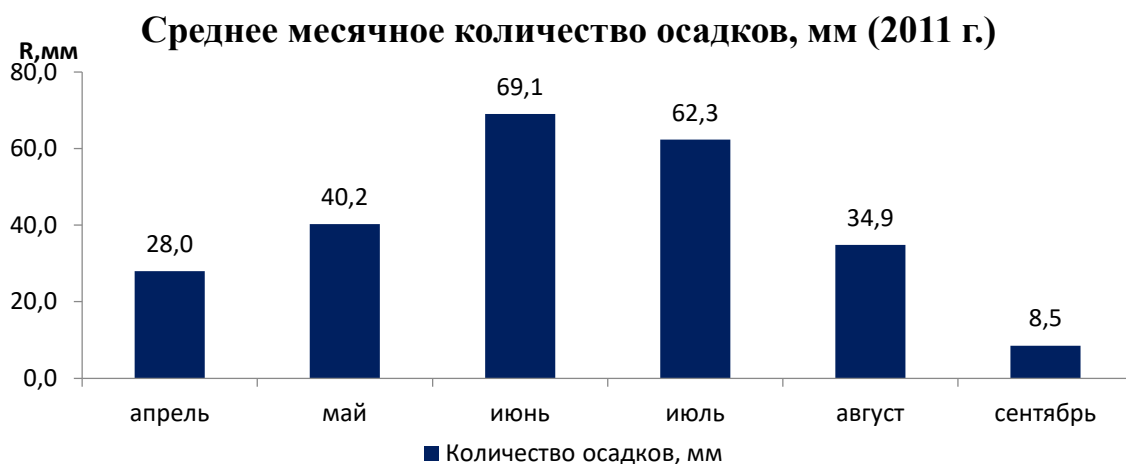


Рис.3.6 Среднее месячное количество осадков на рассматриваемой территории в вегетационный период в 2011 г.

Продуктивность сельскохозяйственных культур при достаточном количестве тепла и благоприятности других факторов в основном определяется обеспеченностью их влагой.

Для расчетов годовых сумм осадков с различной обеспеченностью использовались материалы многолетних наблюдений на данной территории.

Оценка обеспеченности количества осадков на зерновые культуры на севере Казахстана рассматривалась на примере Северо-Казахстанской области (Петропавловск) (табл.21).

Таблица 21 Зависимость обеспеченности количества осадков и урожайности зерновых культур

Станция годы	Обеспеченность (%)/урожайность (ц/га)							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Петропавловск	$\frac{61}{10,0}$	$\frac{17}{11,7}$	$\frac{19}{13,3}$	$\frac{34}{10,1}$	$\frac{26}{14,4}$	$\frac{72}{9,6}$	$\frac{5}{20,9}$	$\frac{34}{11,5}$

Анализ таблицы обеспеченности количества осадков на станции Петропавловск показывает, что 2006, 2007 и 2011 годы являются избыточно влажными, с обеспеченностью менее 25 %, и варьируют в пределах 5-19 %. Особенно выделяется 2011 год, с 5 % обеспеченностью количества осадков, когда средняя урожайность зерновых культур составила 20,9 ц/га. В 2010 году, когда наблюдался дефицит количества осадков, обеспеченность осадков составила 72 %, что сказалось на урожайности зерновых культур в этом году (9,6 ц/га).

Таким образом, режим атмосферных осадков и их обеспеченность в вегетационный период, влияет на урожайность зерновых культур, в регионе.

Урожайность сельскохозяйственных культур, от которой зависит производство пищевых продуктов, непрерывно подвергается комплексному воздействию различных химических веществ, которые могут замедлять рост растений и отрицательно воздействовать на их урожай. Загрязнение атмосферы может быть связано как с естественными процессами, так и с деятельностью человека. Оценка влияния загрязняющих веществ на урожайность сельскохозяйственных культур очень сложна.

На рисунке 3.7 представлено изменение урожайности зерна в зависимости от суммы ионов по двум станциям Северного Казахстана (ст. Костанай и Петропавловск).

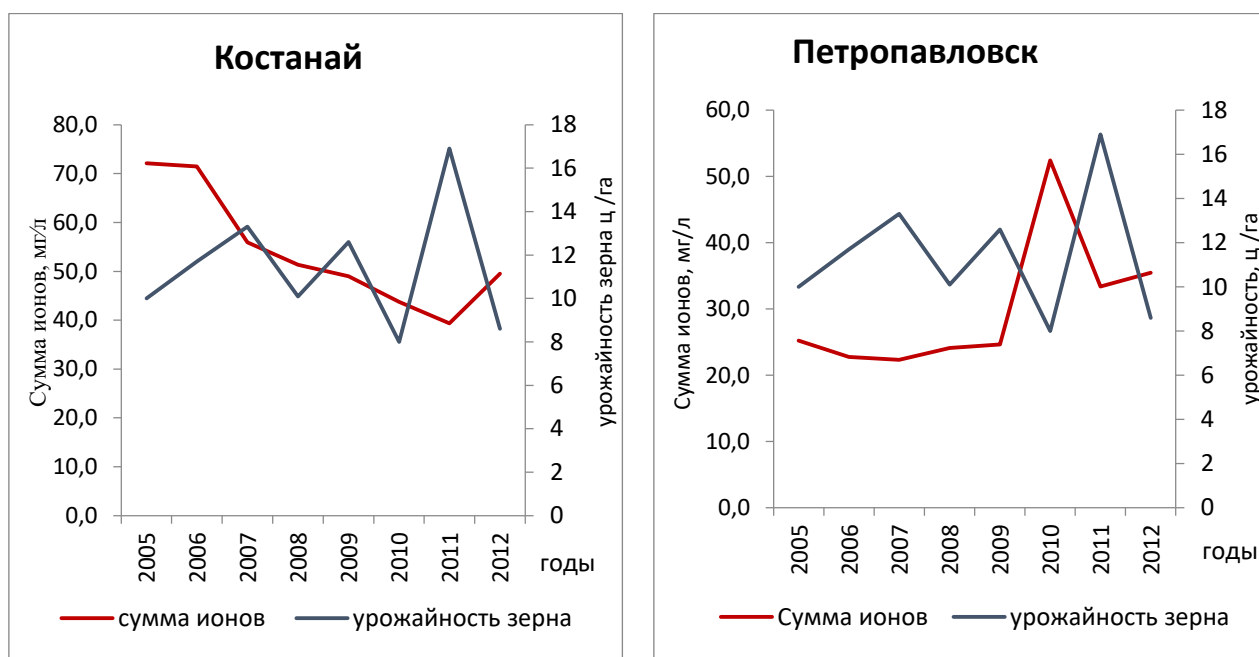


Рис.3.7 Динамика урожайности зерна и сумма ионов атмосферных осадков (2005-2012 гг.)

Можно видеть, что наблюдается обратный ход этих характеристик, т.е. чем больше суммы ионов, тем меньше урожайность зерновых культур. Особенно это прослеживается в последние годы. В 2010 год характеризовался минимальным количеством осадков, однако количество ионов в осадках было достаточно велико. Это можно объяснить тем, что чем больше наблюдается число случаев с осадками (2011 г.), тем меньше загрязнение атмосферных осадков, которые могут повлиять на урожайность, а в засушливый год за один случай выпадения осадков, в атмосфере происходит накопление большого количества загрязняющих веществ, и происходит разовое выпадение загрязненных атмосферных осадков.

На Международной конференции по проблемам закисления окружающей среды [28] было рекомендовано принять за пороговую величину содержания серы 0,5 г/м² в год. Эта величина соответствует среднему значению рН,

равному 4,7. Соответственно, если содержание серы превышает $0,5 \text{ г/м}^2$ в год, то условия для закисления имеют место, а если содержание ниже, то – нет.

Количество серы, выпадающего с осадками по рассматриваемой территории Северного Казахстана приведено на рисунке 3.8.

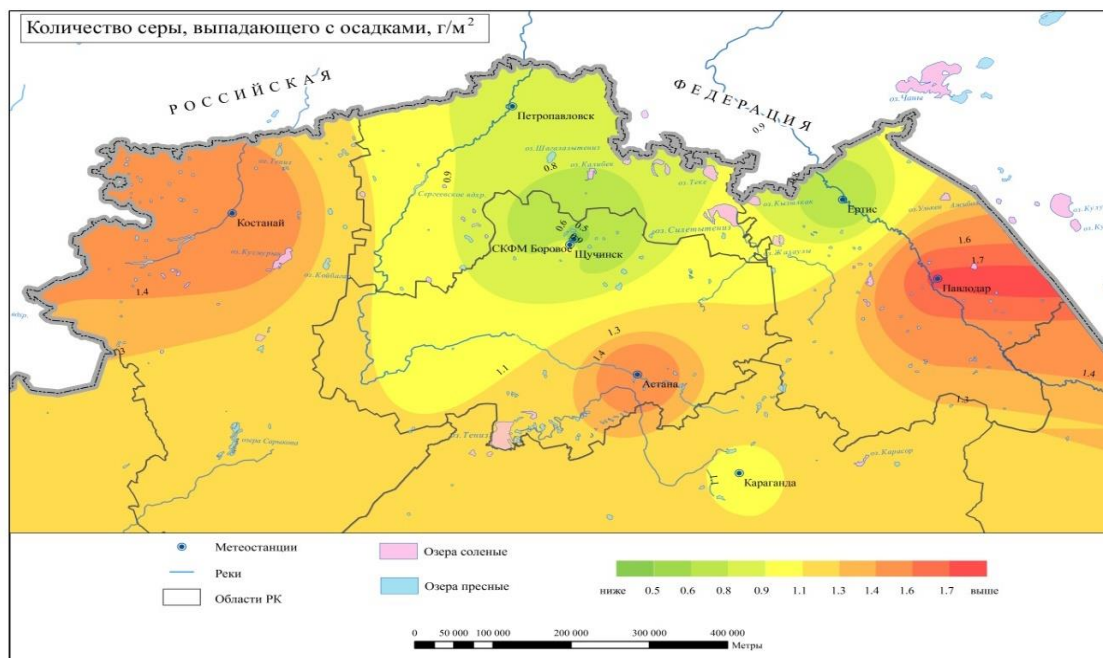


Рис.3.8 Количество серы, выпадающего с осадками, г/м^2 в год

Можно видеть, что только в районе станции Боровое количество выпадающей серы ниже $0,5 \text{ г/м}^2$ год. На остальных станциях оно превышает эту величину в два – три раза. Следовательно, условия для закисления почвы благоприятны практически на всей территории Северного Казахстана, однако сами выпадающие осадки в среднем пока слабощелочного типа (табл. 3.14).

В настоящее время наиболее масштабным загрязнителем природной среды являются промышленные предприятия. Одним из наиболее с точки зрения потенциальной опасности для растительности, является SO_4^{2-} , воздействие которого проявляется в изменении режима роста, замедлении роста, снижения урожайности. Поэтому в работе было рассмотрено пространственное распределение средних концентраций SO_4^{2-} по территории Северного Казахстана (рис.3.9).

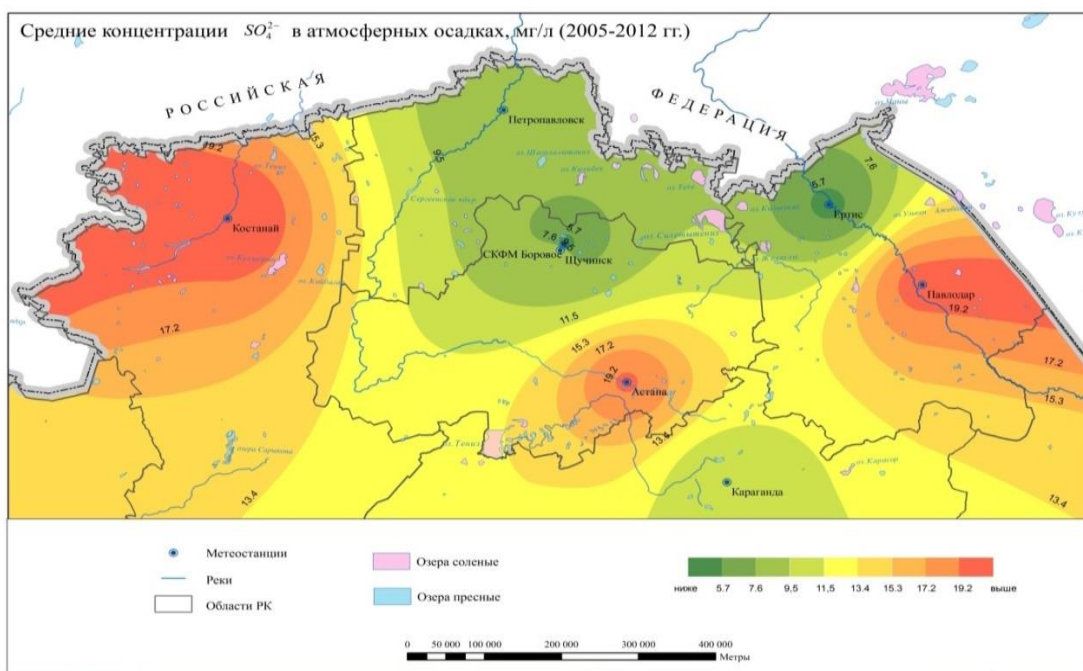


Рис.3.9 Средние концентрации SO_4^{2-} в атмосферных осадках, мг/л

Из рисунка можно видеть, что при пространственном распределении, область высоких средних концентраций SO_4^{2-} включает в себя западную и восточную части Северного Казахстана (ст. Костанай и Павлодар). Области низких средних концентраций наблюдаются на севере и юге рассматриваемой территории. В Караганде, наиболее промышленно-развитом центре, они составляют только 9,54 мг/л.

В некоторых случаях пространственное распределение концентраций не вполне согласуется с объёмами выбросов этого вещества промышленными предприятиями в соответствующих пунктах. Очевидно, метеорологические условия играют заметную роль в пространственном переносе загрязняющих веществ.

Загрязняющие соединения могут растворяться в облачных каплях в процессе образования облаков. После абсорбции загрязняющих веществ облачными каплями эти вещества могут вступать в химические реакции, приводящие к образованию избыточных сульфатов (рис.3.10).

Таким образом, облачные капли с растворенными в них загрязняющими веществами трансформируются, затем в большие по размерам капли дождя. Таким путем загрязнение может выводиться из атмосферы и поступать на земную поверхность с осадками.

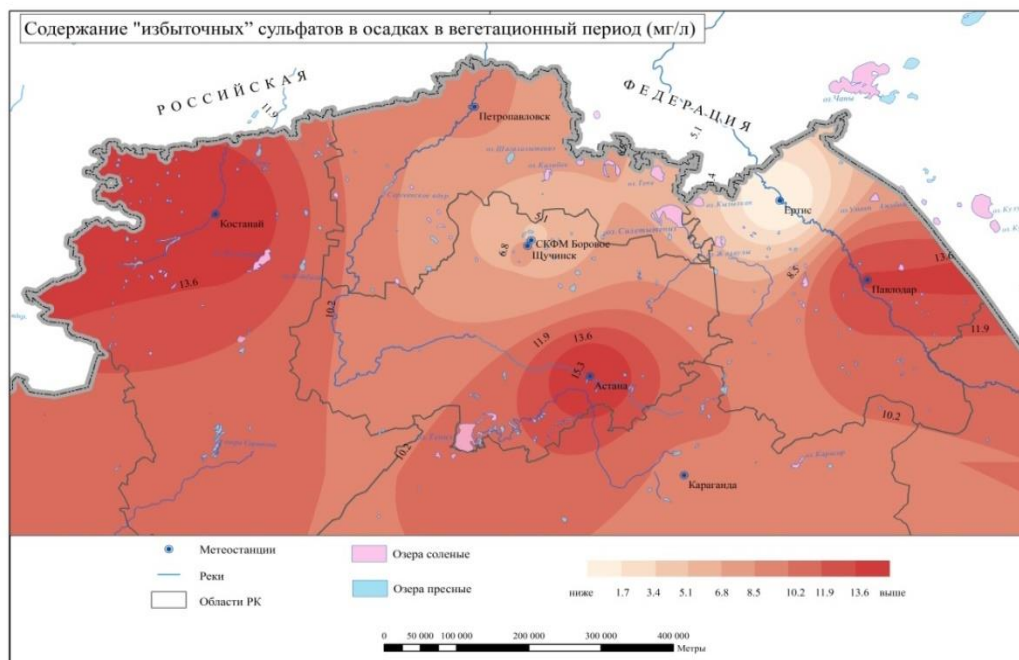


Рис.3.10 Содержание «избыточных» сульфатов в осадках, в вегетационный период, мг/л

Наибольшие экстремумы избыточных сульфатов, наблюдаются в районах Костаная и Астаны (более 15 мг/л), а минимум - в районе Боровое (2,92 мг/л).

Для более полной оценки влияния осадков на процесс закисления были вычислены для месяцев вегетационного периода отношение количества катионов, нейтрализующих закисление, к анионам, способствующим этому процессу. Эти месяцы взяты потому, что кислые осадки во время их выпадения могут непосредственно влиять на жизнедеятельность растений (рис.3.11).

Можно видеть, что только в 29 % всех месяцев количество нейтрализующих катионов превышало количество кислотообразующих анионов. Следовательно, имеются условия для накопления серы в почве и постепенного закисления всей рассматриваемой территории.

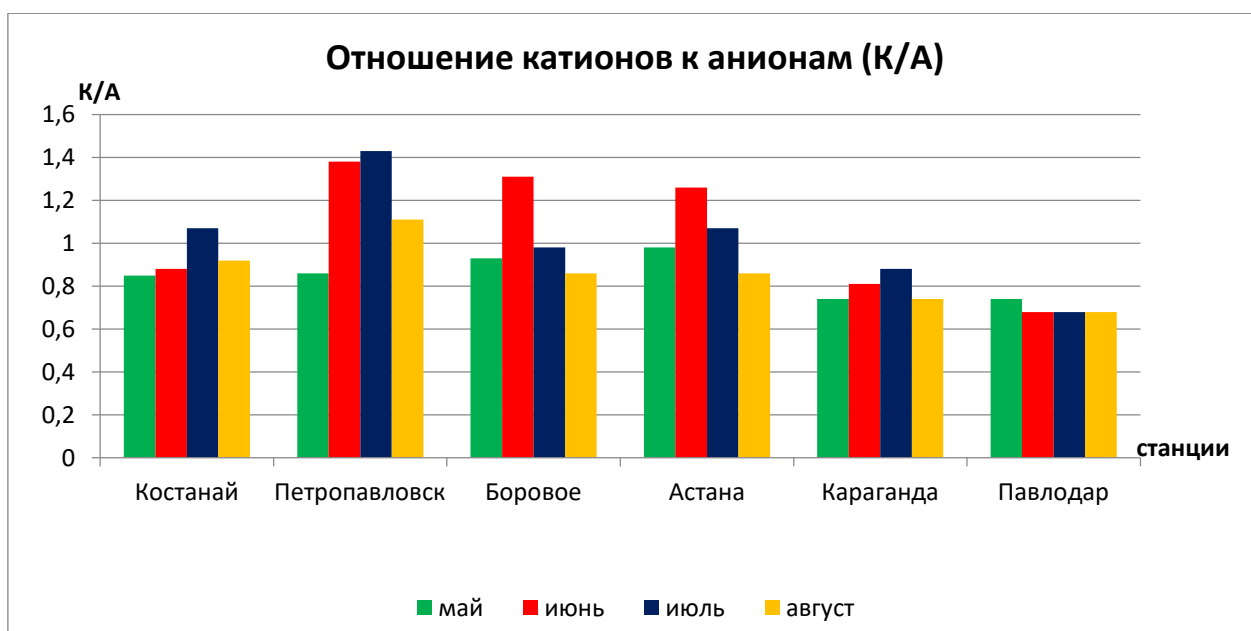


Рис.3.11 Отношение К/А для месяцев вегетационного периода

Таким образом, режим атмосферных осадков и химический состав оказывает существенное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур, в частности зерновых в Северном Казахстане.

В результате выполненных исследований получено следующее:

Проанализировав статистики характеристик осадков, установлены их пределы изменения как во времени (от декады к декаде), так и в пространстве (от станции к станции). Удалось обнаружить, что наибольшие экстремумы всех статистик наблюдаются в основном на ст. Кокшетау, за исключением максимумов для Q1 и Q5, которые отмечаются на ст. Астана. Это обстоятельство позволяет думать о существовании здесь каких-то реперных атмосферных особенностей, например, влияния орографии (Кокчетавская возвышенность), свойства которых можно было бы использовать при долгосрочном прогнозировании декадного числа суток с осадками и количества осадков.

В результате выполненной оценки влияния химизма осадков над Северным Казахстаном и их возможного кислотного воздействия на растительность и почвы получено следующее:

- анионы SO_4^{2-} составляют около 40 % в общей сумме анионов. Вклад нитратного аниона NO_3^- составляет 10 %. Суммарный вклад анионов, способствующих закислению, близок к 50 %;

- из катионов, нейтрализующих влияние сульфатов и нитратов, преобладающими являются Ca^{2+} и Na^+ . В сумме они составляют до 60 % всех катионов;

- несмотря на превышение в среднем за год катионов над анионами в вегетационный период число месяцев, когда кислотообразующие анионы преобладают над нейтральными анионами относится как два к одному. Условия для воздействия на растительность и постепенное закисление почвы имеются;

- корреляции между динамикой закисляющих анионов и величиной рН для данного региона не обнаружено, хотя такая связь, безусловно, существует. Её механизм более сложен;

- в настоящее время признаков, способствующих закислению почвы, не обнаружено, хотя предрасположенность имеет место, особенно в вегетационный период. Пониженные средние месячные величины рН в вегетационный период указывают на возможность прямого отрицательного воздействия, на растительность при отдельных дождях.

- в Северном Казахстане за последние десятилетия в вегетационный период вследствие засушливости 2010 году (103 мм), наблюдалась минимальная урожайность (6,9 ц/га) зерновых культур, а в 2011 году отмечается наиболее высокий урожай 15,3 ц/га, что объясняется обильными осадками (254 мм) в период вегетации.

- чем больше наблюдается число случаев с осадками, тем меньше загрязнение атмосферных осадков, которые могут повлиять на урожайность, а в засушливый год за один случай выпадения осадков, в атмосфере происходит накопление большого количества загрязняющих веществ, и происходит разовое выпадение загрязненных атмосферных осадков.

ГЛАВА 4 ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ

Зоны рискованного земледелия особенно чувствительны к изменению климата, поскольку системы окружающей среды находятся в неустойчивом равновесии и небольшие, но продолжительные изменения количества осадков или рост температуры могут привести к необратимым последствиям. Понятно поэтому, что анализ возможных изменений климата в регионе Северного Казахстана имеет не только научный, но и практический интерес.

В данной главе излагаются подходы и результаты прогноза (сценарии) изменения температуры и осадков на период до 2050 г.

Территория расположена в центре Евразии, и этим обуславливаются большие амплитуды годового хода температуры и относительно малое количество осадков из-за большой удалённости от океанов, в первую очередь от Атлантического океана.

Для перехода от положительного тренда к отрицательному требуется до 10 лет или больше, поскольку необходимо время, чтобы компенсировать накопленную положительную сумму отклонений и достичь нейтрального тренда. Только после этого возможен переход к отрицательному тренду. Поэтому были аппроксимированы ряды, полиномом шестой степени, обеспечивая значительное сглаживание ряда, при котором, однако, сохраняются климатические экстремумы. Такая полиномиальная аппроксимация достаточно чувствительна к общей тенденции ряда и улавливает её по данным всего за несколько лет. Недостатком такого метода аппроксимации является то, что неизвестно, как долго появившаяся тенденция в изучаемом параметре сохранится. Поэтому кроме полиномиальной аппроксимации широко используется гармонический анализ временных рядов. Гармонический анализ, как известно, представляет временной ряд в виде некоторой суммы тригонометрических функций, каждая из которых выбирает

свою долю дисперсии изучаемого параметра. Чем быстрее сходится временной ряд, тем меньшим числом гармоник выбирается основная часть дисперсии. В исследовании до 95 % дисперсии во временных рядах температуры выбирается тремя гармониками, а в рядах осадков – четырьмя. Следовательно, временные ряды осадков сходятся медленнее, чем ряды температуры. Однако в данной работе оценивается вклад гармоник не в долях дисперсии, а через их амплитуду. Это позволяет измерять вклад каждой из гармоник в градусах и миллиметрах соответственно, что очень удобно и физически наглядно.

Если аппроксимация полиномом шестой степени сглаживает временной ряд, быстро реагируя на изменение тренда в динамике ряда, то гармоники характеризуют внутреннюю структуру ряда. Каждую гармонику принято интерпретировать как результат воздействия группы факторов. Нет оснований считать, что факторы, которые участвовали в формировании временного ряда ранее, затем исчезнут. Это даёт возможность, во-первых, проверить, подтверждается ли полиномиальная тенденция на конце временного ряда соответствующим ходом основных гармоник, а во-вторых, построить сценарий изменения временного ряда на 20-40 лет вперёд, как сумму продолженных основных гармоник на перспективу в каждой временной точке ряда. При этом основные гармоники, как основу прогноза, тоже можно аппроксимировать полиномом шестой степени, чтобы получить ожидаемый ход прогнозируемого параметра.

Климатические колебания в регионе объясняются исключительно колебаниями общей циркуляции атмосферы. Для описания общей циркуляции в работе использованы широко известные индексы Вангенгейма для первого естественного синоптического района, простирающегося от середины Атлантики примерно до меридиана 100° в. д. [67]. Вся территория Казахстана находится в пределах этого района. Количественных характеристик интенсивности процесса типизация Вангенгейма не содержит.

4.1 Вариации температуры и осадков

Рассмотрим, однако, особенности распределения температуры и осадков по территории Северного Казахстана, как основу для их последующей трансформации под влиянием изменяющегося климата. В таблице 4.1 на основе [77] приведено распределение температуры по станциям региона. Можно видеть, что для региона характерны суровая зима (средние месячные температуры января минус 16-18 °С) и жаркое лето (средние месячные температуры июля 19-21 °С). Зимние температуры понижаются к северу и к востоку территории. Соответственно, самая низкая температура в январе имеет место в Петропавловске и Щербакты (-17,9 °С). Кроме февраля и марта, во все остальные месяцы в Петропавловске имеют место самые низкие месячные температуры для региона. Как следствие, здесь же отмечается и самая низкая среднегодовая температура воздуха (1,0 °С).

Таблица 4.1 – Средняя месячная и годовая температура воздуха (°С) в Северном Казахстане

Станции	Месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Кокшетау	-15.7	-15.1	-9.0	3.4	12.1	17.8	19.8	17.1	11.4	3.1	-6.8	-13.2	2.1
Костанай	-16.1	-15.3	-8.4	5.3	13.5	19.4	20.8	18.0	12.1	3.8	-6.0	-12.7	2.9
Астана	-16.8	-16.3	-9.9	3.2	12.8	18.2	20.4	17.8	11.5	2.8	-7.1	-13.9	1.9
Павлодар	-17.1	-16.6	-9.1	4.8	13.4	19.4	21.5	18.4	12.3	3.6	-7.3	-14.1	2.4
Щербакты	-17.9	-17.1	-10.1	4.0	13.1	19.3	21.3	18.3	11.9	3.2	-7.8	-14.7	2.0
Явленка	-17.2	-16.4	-9.6	3.4	12.2	17.9	19.5	16.7	11.0	2.6	-7.6	-14.4	1.5
Петропавловск	-17.9	-16.6	-10.0	2.8	11.6	17.3	19.2	16.4	10.6	2.1	-8.0	-15.0	1.0
Δt_{\max}	2.2	2.0	1.7	2.5	1.9	2.1	2.3	2.0	1.7	1.7	2.0	2.3	1.9

В холодное полугодие (январь, февраль) самые высокие температуры наблюдаются в Кокшетау, что обусловлено более высоким его положением над уровнем моря. Затем в течение марта–июня область самых высоких температур смещается на запад в район Костаная, а начиная с мая - на северо-восток в

район Павлодара. Особенности такого перемещения областей низких и высоких температур хорошо объяснимы особенностями общей циркуляции атмосферы согласно, например, [8, 21, 61, 100] и др. Однако это не является объектом данного исследования. Можно отметить, что пространственная изменчивость средних месячных температур не превышает 2,5 °С, а в большинстве месяцев она остаётся в пределах 2,0 °С, то есть регион Северного Казахстана характеризуется достаточно высокой температурной однородностью во все месяцы года.

Среднее годовое количество осадков по территории региона согласно тому же [77] находится в пределах 350 мм (в Петропавловске 356 мм) при испаряемости 800–900 мм. Территория Северного Казахстана находится, таким образом, в зоне рискованного земледелия, в зоне, где испаряемость более чем в два раза больше количества выпадающих осадков (табл. 4.2).

Таблица 4.2 - Количество осадков (мм) на некоторых станциях Северного Казахстана и их распределение в течение года

Станции	Месяцы												За период V-VIII	Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Кокшетау	13	11	10	18	31	44	65	42	27	22	18	13	182	314
Костанай	19	13	13	23	30	41	54	36	28	28	24	22	164	331
Астана	23	19	20	21	30	40	50	38	27	27	24	23	158	342
Павлодар	16	12	11	15	25	31	46	29	21	24	20	18	131	268
Щербакты	15	15	10	11	16	25	57	47	22	25	19	17	145	279
Явленка	13	11	10	20	31	49	68	49	30	30	20	16	197	347
Петропавловск	16	12	11	20	31	49	61	50	32	30	24	20	191	356
ΔQ_{\max}	10	8	10	12	15	24	19	21	11	8	6	10	51	88

Однако, земледелие в регионе возможно, и данный регион является основным районом земледелия, обеспечивающим стране продовольственную безопасность. Земледелие здесь возможно не потому, что осадков выпадает достаточно, а потому, что основное их количество выпадает в вегетационный период. Действительно, из таблицы 4.2 видно, что в течение мая-августа

выпадает половина или несколько больше половины годового количества осадков. Этот факт и обеспечивает возможность земледелия в регионе.

Наибольшее годовое количество осадков имеет место в северной части региона (Петропавловск, 356 мм), медленно снижаясь к югу (Астана, 342 мм). Значительное количество осадков выпадает также на северо-западе территории (Костанай, 331 мм). К востоку количество осадков быстро снижется до 268 мм в Павлодаре. В вегетационный период распределение выпадающих осадков по территории и в общих чертах сохраняется, но в северной части, где имеет место максимум, количество выпадающих осадков составляет больше половины, а на остальной части территории - около половины. В целом по территории, несмотря на годовые различия в количестве осадков, до 88 мм, годовой режим их изменения очень сходен. Таким образом, в целом в среднем статистическом на рассматриваемой территории распределение температуры, определяющей испаряемость, и количества осадков с максимумом в годовом ходе в вегетационный период и определяют средние условия земледелия в регионе. Отклонения от этих условий, в первую очередь в сторону понижения количества осадков в вегетационный период в отдельные годы, ведут к потере урожая. Климатические изменения в этом направлении, т.е. рост температуры или уменьшение количества осадков или то и другое одновременно, могут привести вообще к невозможности заниматься в этом регионе земледелием.

Поэтому построены ожидаемые сценарии изменения температуры и осадков на перспективу на период до 2040-2050 гг. Для этого сначала проанализированы временные ряды температуры и осадков в регионе.

4.2 Результаты гармонического анализа температуры и осадков

В таблице 4.3 приведены результаты гармонического анализа рядов температуры по станциям региона, а на рисунке 4.1, результаты гармонического анализа временного ряда температуры станции Щербакты.

Таблица 4.3 – Продолжительность (годы) и амплитуда ($^{\circ}\text{C}$) гармоник в рядах температуры станций Северного Казахстана

Станции	Гармоники						
	Первая			Вторая		Третья	
	продолжи- тельность	амплитуда	начало- конец	продолжи- тельность	амплитуда	продолжи- тельность	амплитуда
Кокшетау	148/114	2,8	2003/1946	38	0,9	23	0,8
Костанай	233/122	2,6	2004/1943	38	1,2	23	0,8
Астана	198/106	2,6	2005/1952	38	1,2	23	0,8
Павлодар	93/100	1,6	2003/1953	38	0,6	23	0,8
Щербакты	103/98	1,8	2002/1953	38	0,7	23	0,7
Явленка	180/118	1,9	2004/1945	39	0,8	24	0,8
Петропавловск	173/120	2,1	2003/1943	39	0,8	24	0,8
среднее	~110	2,2	~/-	38	0,9	23	0,8

В таблице 4.3 приведены характеристики первых трёх гармоник, выбирающих около 90 % дисперсии временного ряда. Однако для анализа будут пользоваться не долями дисперсии, а амплитудой гармоник. Амплитуды являются аналогом долей дисперсии, но более удобны и наглядны при анализе. Продолжительность первых гармоник по данным гармонического анализа колеблется от 100 до 230 лет, т.е. в довольно широких пределах, в том числе и за счёт погрешностей, обусловленных недостаточной длиной ряда (до 10 %).

Для первых гармоник кроме их продолжительности в знаменателе приведена реальная продолжительность «вековых» циклов в рядах температуры, найденная по результатам полиномиальной аппроксимации, и не содержащая вышеупомянутой погрешности, обусловленная не только первой гармоникой, но всеми тремя.

Можно видеть, что в этом случае длины первых гармоник уже различаются незначительно. Наличие второй и третьей гармоник при значительной их амплитуде и наличии синхронности часто обуславливают

смещение временного ряда на понижение, несмотря на то, что «вековая» гармоника ещё растёт.

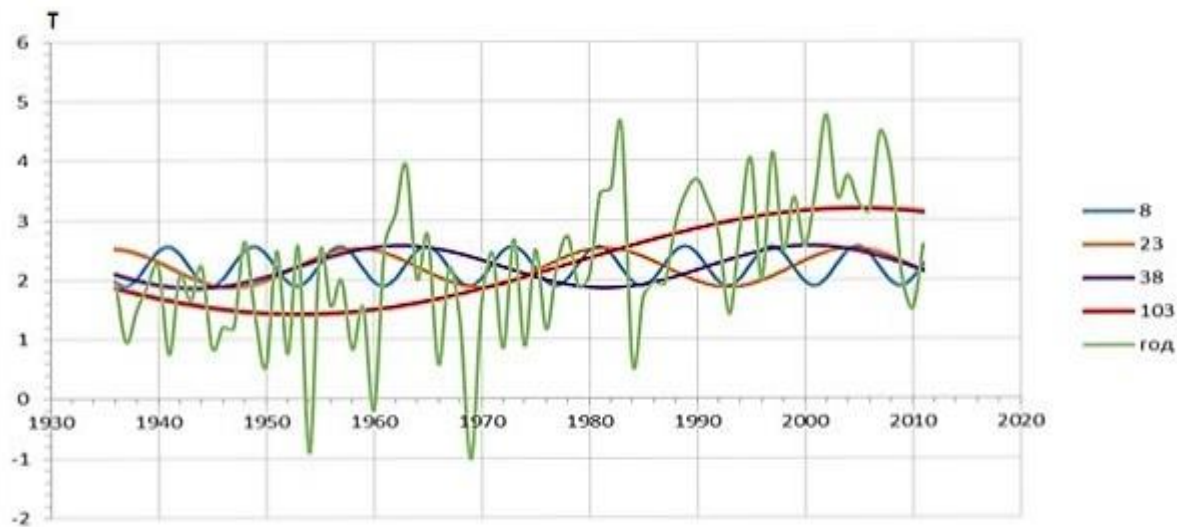


Рис. 4.1. Результаты гармонического анализа временного ряда температуры для станции Щербакты

Длина реальных циклов (знаменатель) определена на основе аппроксимации временного ряда температуры полиномом шестой степени. Можно видеть, что реальные вековые циклы тоже не остаются постоянными по территории. Они самые длинные в центральной и западной частях региона, согласуясь с длинами гармоник.

В качестве примера, приведён временной ряд температуры для станции Щербакты, аппроксимированный таким образом (рис. 4.2).

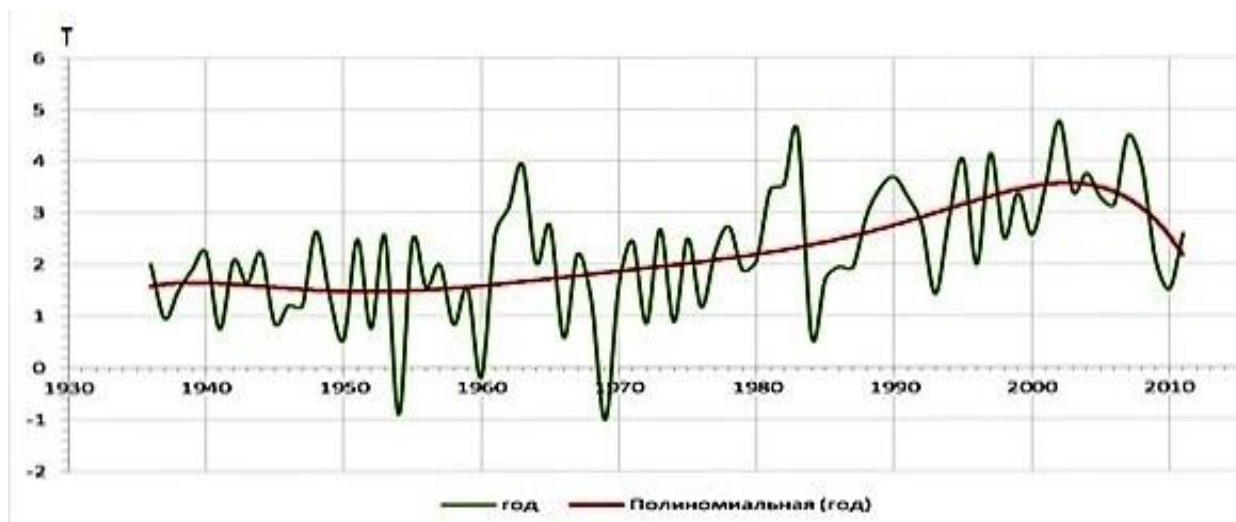


Рис. 4.2. Временной ряд температуры для станции Щербакты

В данном случае, однако, все три гармоники начали понижаться почти одновременно (рис. 4.1) и расхождение между первыми гармониками на основе гармонического анализа и реальной гармоники по полиному шестой степени почти отсутствуют.

Амплитуды первых гармоник на всех станциях колеблются от 1,6 до 2,8 °С. Продолжительность вторых гармоник составляет 38 лет при амплитудах от 0,6 до 1,2 °С. Третьи гармоники имеют период 23 года при амплитудах 0,8 °С. На крайнем севере региона вторая и третья гармоники на один год оказались длиннее, что и не представляется принципиальным.

В таблице 4.3 приведены также годы начала и конца реальных (первых) гармоник по станциям региона. Видно, что начало потепления в регионе было не дружным и растянулось примерно на 10 лет, в то время как его конец наступил в течение двух – трёх лет. Эта растянутость наступления экстремумов, в данном случае минимума температуры, является следствием неодинаковости длины первых гармоник.

Далее рассмотрены временные ряды осадков (табл. 4.4).

Таблица 4.4 - Продолжительность (годы) и амплитуда (мм) гармоник в рядах осадков станций Северного Казахстана

Станции	гармоники					
	первая		вторая		третья	
	продолжи- тельность	амплитуда	продолжи- тельность	амплитуда	продолжи- тельность	амплитуда
Кокшетау	-	-	28	60	18	55
Костанай	38	30	23	45	8	10
Астана	43	50	28	50	23	40
Павлодар	-	-	-	-	15	25
Щербакты	103	10	33	30		
Явленка	48	40	-	-	18	45
Петропавловск	39	40	24	50	12	25

Если температура является непрерывной величиной, то осадки - это дискретное явление. К тому же осадки сильно зависят от орографии. Естественно поэтому, что не получены «одинаковости» гармоник для территории рассматриваемого региона, как это было при анализе поля температуры. В то же время, очевидно, что в рядах осадков отсутствует вековая гармоника или гармоники длиннее вековой. На большинстве станций имеет место полувековая (брикнеровская) гармоника.

Анализ таблицы 4.4 показывает, что гармоника длиной 103 года, отмечаемая на станции Щербакты, есть не что иное, как двойная брикнеровская гармоника, как это часто бывает [44-46, 49]. Длина второй гармоники находится в пределах от 23 до 33 лет, а третьей – от 12 до 28 лет. Отмеченный в [45] факт, что в рядах осадков амплитуды первой и второй гармоник близки по величине, нашёл полное подтверждение для территории Северного Казахстана. Длины первой и второй гармоник находятся в пределах 60 - 30 мм. Амплитуды третьих гармоник несколько меньше.

В связи с имеющим место разбросом, как длин, так и амплитуд гармоник в рядах осадков, были проанализированы кривые, которыми аппроксимированы временные ряды осадков (табл. 4.5) и (рис. 4.3).

Таблица 4.5 - Продолжительность (годы) и амплитуда (мм) циклов в рядах осадков по данным аппроксимации полиномом шестой степени

Станции	годы max	годы min	продол- жительность	длины полупериодов	амплитуда
Кокшетау	1965, 2004	1985	39	20/19	50
Костанай	1954, 2000	1976	46	22/24	30
Астана	1962, 2005	1986	43	24/19	50
Павлодар	1940, 1998	1966	58	26/32	60
Щербакты	1946, 2000	1976	54	30/24	20
Явленка	1946, 1996	1968	50	22/18	50
Петропавловск	1952, 1994	1970	42	18/24	40
среднее	1952, 2000	1975	47	23/23	43

Прежде всего, следует отметить большое подобие аппроксимационных кривых для рядов осадков всех станций. При более внимательном анализе видно, что при общем подобии имеются и различия. Прежде всего, время наступления экстремумов в рядах заметно различается (табл. 4.5). Заметно различается и продолжительность циклов. Так, во всех без исключения временных рядах легко выделяются брикнеровские циклы продолжительностью от 39 до 58 лет.

При этом практически имеет место связь типа, чем раньше начался цикл в пятидесятые – шестидесятые годы прошлого века, тем они длиннее. Так, самый длинный цикл в Павлодаре, который начался в 1940 г., а самый короткий - в Кокшетау, который начался через 25 лет только в 1965 г.

Полупериоды циклов тоже не одинаковы. Чем длиннее цикл, тем больше разница в длинах полупериодов (табл. 4.5).

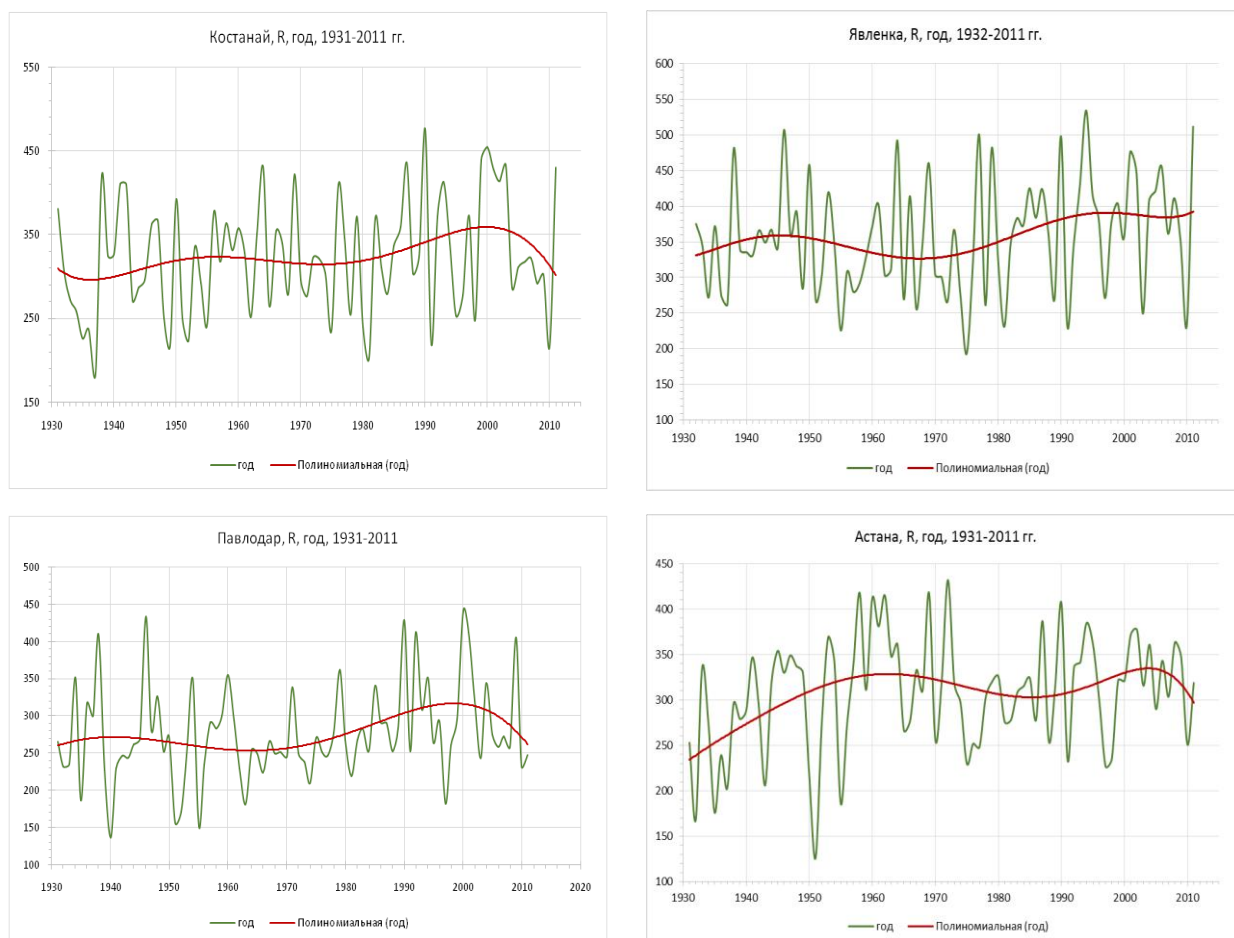


Рис. 4.3. Временные ряды осадков станций региона, аппроксимированные полиномом шестой степени

В связи с большой пространственно-временной изменчивостью осадков ряд авторов предлагают разные способы по повышению надёжности прогноза осадков на перспективу. Так, авторы [42, 102-104] предлагают площадное осреднение и использование этих осреднённых характеристик для построения сценариев изменения климата. Однако в [105, 106] показано, что площадное осреднение тоже может быть источником ряда ошибок и искажений.

4.3. Факторы, определяющие успешность климатического прогноза

Прежде чем строить наши сценарии изменения температуры и осадков на перспективу, проанализируем основные факторы, определяющие успешность такого прогноза, а также результаты некоторых климатических прогнозов.

Анализ временного ряда осадков, например, по Астане показывает, что нет периода после 1930 г., когда бы средняя многолетняя норма превышала 350 мм (рис. 4.4).

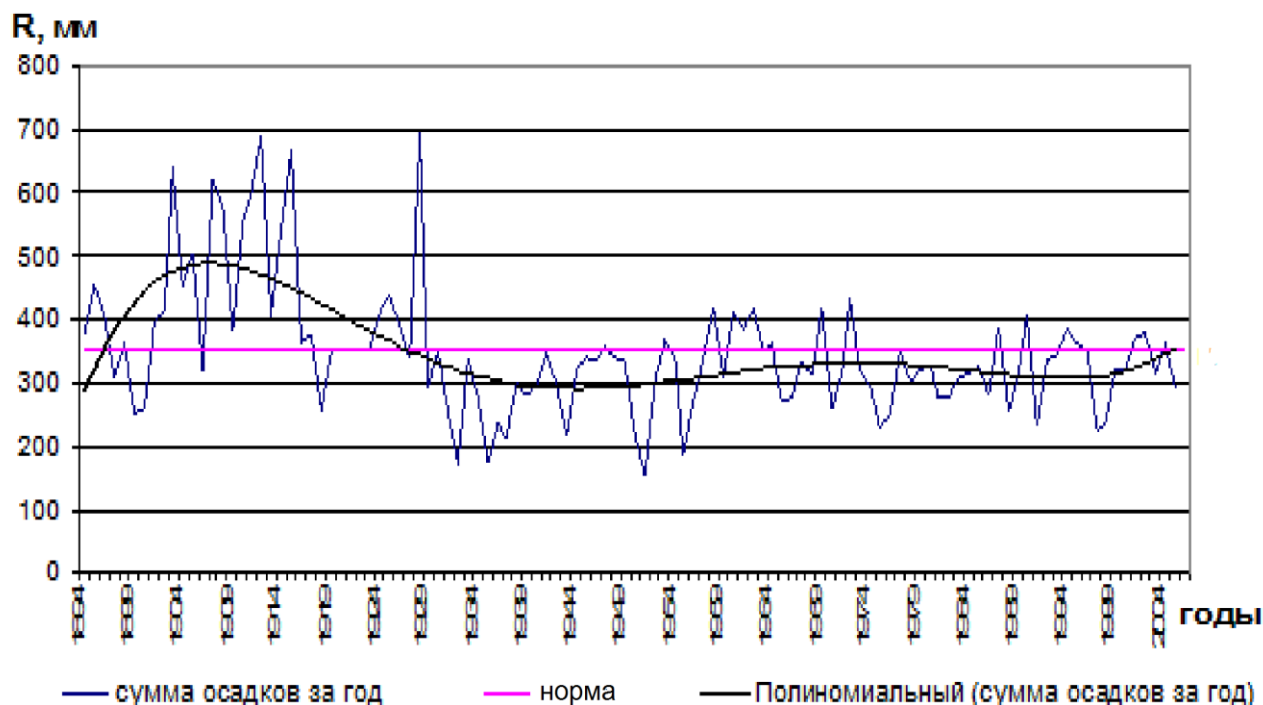


Рис. 4.4 Временной ряд осадков на станции Астана

Средние квадратические величины годовых осадков для Северного Казахстана составляют 80-100 мм [51]. Автор отмечает, что чем больше среднее количество осадков, тем больше среднее квадратическое отклонение, что имеет место и по данным, полученным за период с 1936-1992 гг. (57 лет).

Далее в [50] анализируются многолетние тенденции режима увлажнения в регионе, то есть тенденции режима осадков. Для этого по всем длиннорядным станциям вычислялись коэффициенты линейного тренда и доли его дисперсии в межгодовой дисперсии ряда. Области, где отношения дисперсии тренда к межгодовой дисперсии превышают 15 %, на карте коэффициентов линейного тренда автором специально выделены. Такими областями на территории Казахстана оказались территория восточнее Северного Каспия, район в центральной части Казахстана, включающий Джезказган и Астану. В Прикаспий и в центре Республики коэффициент линейного тренда отрицателен, а в остальных областях значимых изменений тренда – положителен. Сравним это с нашими результатами.

На рисунке 4.4 представлен временной ход осадков в Астане, аппроксимированный полиномом шестой степени. Временной ряд осадков начинается с 1891 года. В начале двадцатого века имел место заметный рост количества осадков, более чем на 120 мм, превышающий в максимуме норму, вычисленную за весь период наблюдений.

В двадцатые годы осадки опустились ниже нормы. С тех пор и по начало 21 века осадки в Астане оставались ниже нормы, испытывая климатические колебания. Можно видеть, что около 1909 году имел место значительный максимум осадков, сменившийся затем минимумом, около 1930 г., затем максимум в шестидесятые годы, сменившийся минимумом в девяностые. Таким образом, проанализировав временной ряд осадков в Астане, можно видеть, что речь идет не о каком-то едином более или менее выраженном тренде осадков в связи с таким же трендом температуры, а о простых естественных климатических колебаниях количества осадков, обусловленных, как показано в [45], пульсациями общей циркуляции атмосферы.

Отрицательный тренд в данном регионе обусловлен тем, что самые большие осадки были в начале двадцатого века и в начале ряда. Именно этот климатический максимум обеспечил такой высокий уровень нормы, что величины ряда после двадцатых годов оставались ниже нормы, обеспечив одновременно и отрицательный линейный тренд.

Рассматриваются поэтому ещё один временной ряд осадков по станции Алматы, тоже аппроксимированный полиномом шестой степени (рис. 4.5).

Можно видеть, что в течение двадцатого века в районе Алматы тоже имели место климатические колебания с максимумом около 1900 г. и последующим минимумом около 1924-1926 гг., затем следующим максимумом около 1964 г. и минимумом около 1980 г.

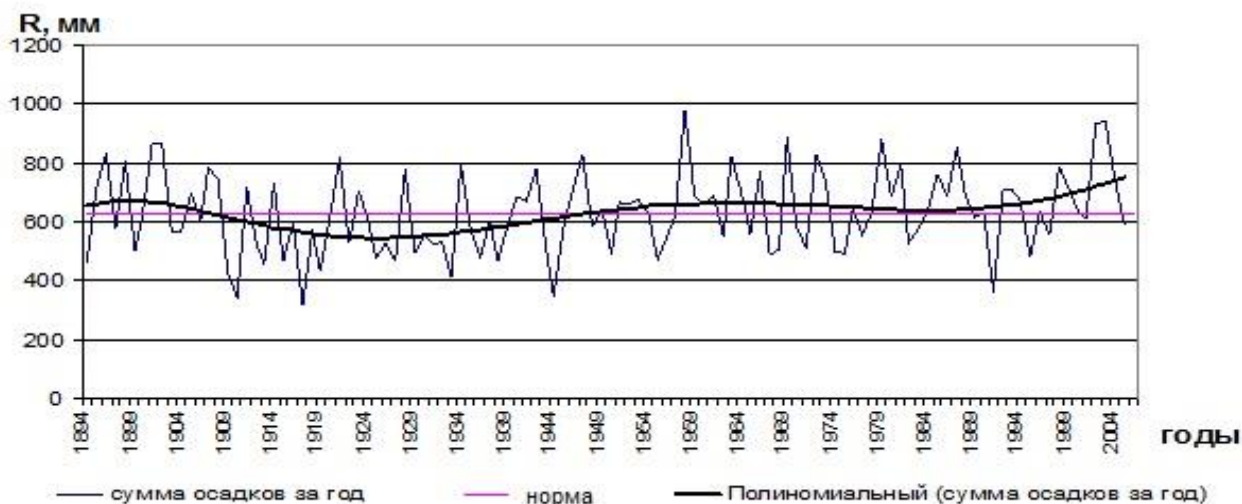


Рис. 4.5 Временной ход осадков на станции Алматы

В целом климатические экстремумы в рядах осадков Алматы соответствуют экстремумам в Астане, однако в Астане они наступают на несколько лет позже.

Главным выводом от сравнения временных рядов осадков в Астане и Алматы является следующее:

- во временных рядах осадков по территории имеют место сходные климатические экстремумы, но время их наступления в разных регионах Казахстана может различаться от 2-3 до 20 лет;

- направления перемещения экстремумов осадков обычно слабо выражены;

- связи между глобальным изменением температуры и изменениями количества осадков в регионе не просматривается.

Установление физических связей между предикторами и предиктантами – довольно трудная, требующая времени задача. Возможно хорошая гипотеза, как это бывает, способствовала бы движению в правильном направлении. В [45] показано, что климатические изменения температуры и осадков происходят в регионе не в фазе и не в противофазе, а асинхронно, со сдвигом в несколько лет.

При этом экстремумы каждого из параметров по территории тоже наступают не одновременно, а со сдвигом в несколько лет.

И если для временных рядов температуры и осадков региона величины этих сдвигов относительно известны (они зависят от места наблюдений), то временной сдвиг между глобальными факторами и осадками в регионе, если такая связь реальная, а не ложная, есть, то предстоит ее сначала установить.

Согласно прогнозу на большей части региона кроме крайнего востока ожидалось по отношению к 1985 году понижение температуры к 1995 году, что объяснялось ростом двуокиси углерода. В районе Казахстанского Алтая и в центральных районах Казахстана ожидался рост температуры.

К 2005 году ожидалось замедление отрицательных тенденций, в том числе средних годовых. Рост температуры к этому сроку ожидался на большей части рассматриваемой территории.

На самом деле в центральном Казахстане около 1988 года имел место слабо выраженный климатический минимум температуры, после которого её рост продолжался и достиг максимума в 2005 году. После этого началось её понижение.

На востоке территории тоже имел место рост температуры после 1990 года с максимумом около 2006 г.

Аналогичный ход температуры имел место практически на всей территории Республики, то есть некоторое её понижение в восьмидесятые – девяностые годы и дальнейший рост к 2000-2005 гг., после чего началось её всеобщее значительное понижение.

В связи с результатами, изложенными выше, представляется нецелесообразным построение сценария изменения климата для Северного Казахстана на вероятностно-статистической основе. Мы попытались сделать климатический прогноз на физической основе, на основе колебаний общей циркуляции атмосферы, поскольку это единственный фактор в нынешних условиях, способный привести к климатическим изменениям.

4.4 Климатический прогноз

Авторы метода вероятностно-статистического метода климатического прогноза [102-104] вводят понятие группы аналогов или группы «ближайших соседей». Ближайшими соседями являются те, у кого режимы температуры и осадков близки. Выше показаны, что температурный режим региона мало различается по территории, а режим осадков, несмотря на их большую изменчивость, тоже сходен. Следовательно, к исследуемому региону можно применить понятие «ближайших соседей».

Сценарий изменения температуры. Построение сценария на перспективу выполняется на основе гармонического анализа временного ряда температуры станции Щербакты, содержащегося выше. В предположении, что гармоники, обнаруженные во временном ряде температуры в Щербакты, сохранятся, они продлеваются на перспективу до 2050 г. В этом случае можно ожидать, что температура в течение ближайших 50 лет за счёт вековой гармоники будет понижаться в пределах её амплитуды, около 2,0 °С к концу периода. На фоне понижения климатической температуры, обусловленного понижением амплитуды вековой гармоники, возможны колебания температуры за счёт второй и третьей гармоник, которые, как и на анализируемом временном

отрезке, не превысят 0,8 °С. В северо-восточной и северной частях региона понижение температуры наступит раньше, чем в центральной и южной. Климатическая разность температур по территории не будет превышать 2,0 °С.

Сценарий изменения осадков. При построении сценариев динамики осадков на перспективу мы не сочли возможным воспользоваться результатами гармонического анализа временных рядов осадков по аналогии с построением сценария температуры. Как видно из таблицы 4.4, гармоники во временных рядах осадков, в отличие от рядов температуры, сходятся медленно. Каждый случай осадков (импульс) характеризуется очень малым отношением длительности импульсов к периоду их повторения. Большая по сравнению с длительностью импульса величина периода повторения приводит к медленной сходимости ряда и к необходимости учитывать большое число гармоник, поскольку амплитуды соседних гармоник близки по величине, что имеет место и в рассматриваемом случае (табл. 4.4). Согласно теории гармонического анализа «ряды Фурье «в таком случае» пригодны скорее для анализа временных рядов, чем для синтеза» и построения прогностических сценариев [107]. Поэтому для построения сценариев динамики осадков на перспективу воспользовались связью между временными рядами осадков и компонентами общей циркуляции атмосферы (типами макропроцессов), чтобы построить сценарии динамики осадков на перспективу. Для начала, однако, выполнен гармонический анализ самих типов макропроцессов. Результаты такого анализа типов макросиноптических процессов E, C и W приведены в таблице 4.6 и на рисунке 4.4. Из таблицы 4.6 и рисунка 4.4 можно видеть, что у всех типов более 90 % дисперсии выбирается первыми тремя гармониками, а у макротипа W – по сути двумя.

У всех типов с увеличением номера гармоники ее амплитуда, быстро понижается, то есть ряды быстро сходятся, что говорит о высокой внутренней и физической взаимообусловленности, связности рядов.

Таблица 4.6 Результаты гармонического анализа временных рядов типов циркуляции

Номера гармоник	Типы					
	Е		С		W	
	длина, годы	амплитуда, дни	длина, годы	амплитуда, дни	длина, годы	амплитуда, дни
1	98	60	58	40	103	65
2	43	40	28	25	38	40
3	23	20	18	20	23	5

Во временном ряде повторяемости типа Е имеются вековые гармоники (98 лет) с амплитудой 60 суток. Вековая гармоника имеется также, в типе W (103 года), максимальная из всех гармоник, с амплитудой до 65 суток. Во временном ряде типа С вековая гармоника отсутствует. Самой длинной является гармоника 58 лет с амплитудой 40 суток. Из трех макротипов циркуляции гармоники типа С имеют самые минимальные амплитуды (в два раза по сравнению с соответствующими гармониками других типов), а сами гармоники – наименьшую продолжительность.

Из выполненного анализа гармоник всех трёх типов циркуляции следует, что все они быстро сходятся, что предполагает наличие в них высокой внутренней и физической взаимообусловленности, связность рядов. Это позволяет использовать их для построения сценария изменения осадков на перспективу.

Временной ряд осадков по станции Астана, как самый продолжительный в регионе, взят за основу для всей группы «ближайших соседей» для анализа и построения прогностического сценария. Анализируя временной ряд осадков, можно видеть, что в начале XX века имел максимум осадков (рис. 4.4). Этот климатический максимум (до 500 мм в отдельные годы) был настолько выраженным, что на остаток XX века он обеспечил отрицательный линейный тренд, и ряд исследователей, начиная от этого времени, начали считать, что в регионе началось климатическое понижение осадков, обусловленное

глобальным потеплением [50, 54]. Были проанализированы, при каких макросиноптических условиях наблюдались экстремумы осадков в Астане. Результаты анализа приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 Характеристика гармоник типов макропроцессов при экстремумах осадков в Астане

Типы процессов	Номера гармоник	Экстремумы, годы			
		максимум около 1908	минимум около 1944	максимум около 1974	минимум около 2002
Е	1	на спаде, ниже нормы	на подъеме, около нормы	в максимуме	на спаде, около нормы
	2	ниже нормы, около минимума	на спаде, около нормы	в максимуме	около минимума, на спаде, ниже нормы
	3	около максимума	в минимуме	в максимуме	на подъеме, выше нормы
С	1	на спаде, ниже нормы	рост, близко к максимуму	близка к минимуму, спад	на подъеме, выше нормы
	2	на спаде, около максимума	рост, в максимуме	на спаде, около нормы	в максимуме
	3	на спаде, выше нормы	максимум, спад	на подъеме, около нормы	в максимуме
W	1	на подъеме, около максимума	на спаде, около нормы	около минимума	на подъеме, выше нормы
	2	на подъеме от минимума	на подъеме, около нормы	спад, затем около минимума	на спаде, около нормы
	3	на подъеме от минимума	около нормы	около минимума	около нормы

Из таблицы 4.7 можно видеть, что климатический максимум имел место около 1908 г., когда все три гармоники типа W были на подъеме, а первая гармоника в максимуме. Следовательно, максимум осадков в начале XX века в Астане был обусловлен необычайно высокой активностью процессов типа W, на фоне максимума первой гармоники, при слабой выраженности типов С и Е. Второй менее выраженный климатический максимум осадков в семидесятые годы наблюдался, когда все три гармоники типа Е были в максимуме.

Следовательно максимум осадков в семидесятые годы имел место при выраженной активности типа E, всех трёх гармоник.

Минимум осадков в сороковые годы XX века имел место при высокой активности типа C: все три гармоники были в максимуме или около него. Следовательно, климатический минимум осадков в Астане в сороковые годы был обусловлен высокой активностью типа C при активности около нормы типов E и W. Минимум осадков в конце XX века тоже наблюдался при повышенной активности типа C: вторая и третья гармоники были в максимуме, а первая на подъеме.

Климатические максимумы осадков в XX веке, следовательно, имели место при типах W и E, а климатические минимумы при типе C.

При анализе было замечено также, правда, на качественном уровне, что когда какой-то тип циркуляции через амплитуду своих гармоник усиливается, находится на подъеме, то это более сильно сказывается на климатическом изменении осадков, чем когда амплитуда гармоник находится на спаде. Сценарий изменения количества осадков на перспективу построен в предположении, что гармоники в рядах типов общей циркуляции атмосферы сохраняются. Для этого выделенные гармоники продлены до 2050 года (рис. 4.6). Проанализированы особенности их хода на временном участке до 2050 года. Как следует из анализа, повышенное количество осадков ожидается при одновременном максимуме двух гармоник типа W или E, а пониженное – при одновременном максимуме первых двух гармоник типа C. При этом гармоники других типов должны находиться около нормы. На анализируемом временном участке в максимуме амплитуды находится вековая гармоника типа W, которая и определяет осадки около нормы. Выше нормы они были в конце XX века и будут около 2025-2035 гг., когда и вторая гармоника типа W в максимуме. Амплитуда вековой гармоники типа E в течение всего периода будет ниже нормы, и её влияние будет слабым. Амплитуда первой гармоники типа C, с которой связан минимум осадков в регионе, находится в максимуме в настоящее время, влияние которой перекрывается вековой гармоникой типа W.

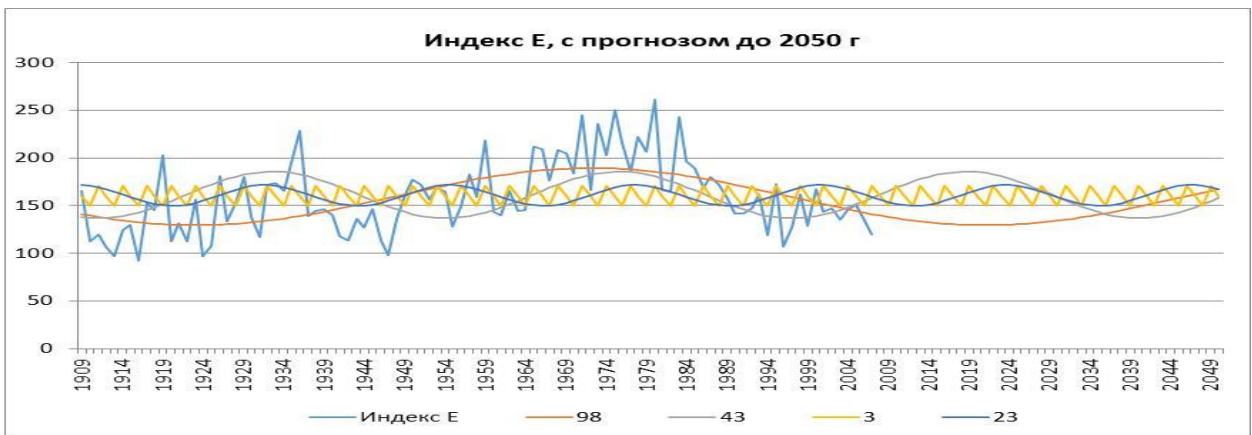
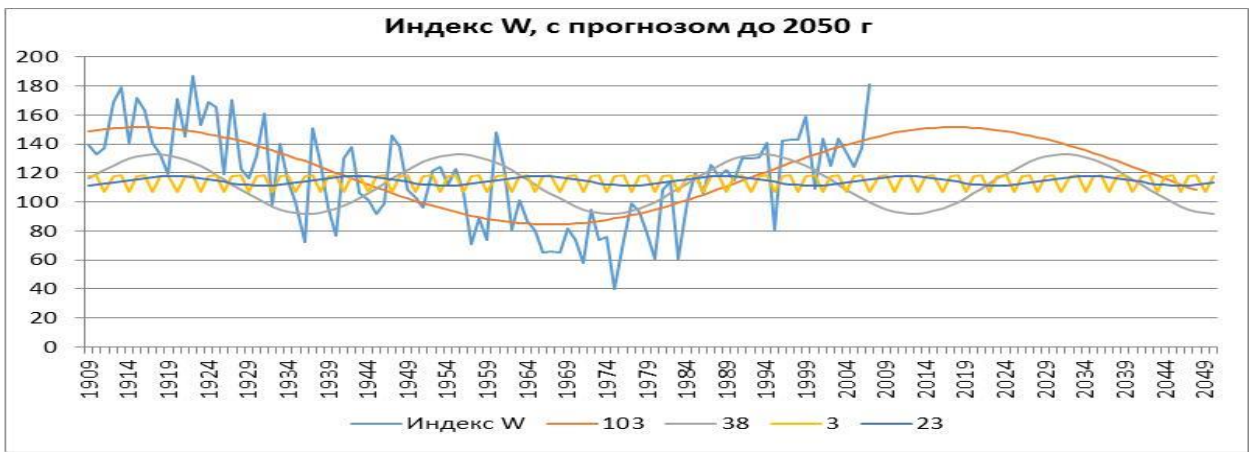


Рис. 4.6 Результаты гармонического анализа индексов общей циркуляции атмосферы с прогнозом до 2050 г.

На всём анализируемом временном участке не наблюдается совпадения максимумов первой и второй гармоник типов W или E, а также типа C, способствующих формированию выраженных климатических экстремумов осадков. Наиболее вероятен ход осадков с небольшими климатическими колебаниями с максимумами в настоящее время и в тридцатые годы XXI века и с минимумом около 2020-2025 гг., амплитуда колебаний ± 20 мм от нормы.

Большое подобие аппроксимационных кривых осадков на других станциях региона (табл. 4.5) позволяет рассчитывать, что ожидаемые климатические изменения количества осадков в Астане будут иметь место во всем регионе, хотя время наступления экстремумов на станциях будет несколько разным согласно результатам, содержащимся в таблице 4.5.

Понижение температуры, которое ожидается, хотя и небольшое, будет способствовать уменьшению испарения, что благоприятно скажется на земледелии.

В данной главе получены следующие результаты:

1. Временные ряды температуры при гармоническом анализе первые три гармоники, как правило, выбирают около 90 % дисперсии. Благодаря этому возможно построение сценариев на перспективу в предположении сохранности первых гармоник разложения.

2. Гармоники временных рядов метеорологических станций в пределах региона Северного Казахстана обладают большим сходством. Это позволяет применить метод «ближайших соседей», взяв для анализа одну станцию из группы.

3. Показано, что гармоники во временных рядах осадков не обладают достаточной сходимостью. В то же время гармоники в рядах осадков мало меняются по территории, и это позволяет при построении сценария на перспективу применять метод «ближайших соседей». Применительно к осадкам при построении прогноза на перспективу более целесообразно использовать связи между климатическими изменениями осадков и колебаниями индексов общей циркуляции атмосферы.

4. Температура в Северном Казахстане в течение ближайших 50 лет будет понижаться в пределах амплитуды вековой гармоники, около 2,0 °С к концу периода. На фоне понижения климатической температуры, обусловленного понижением амплитуды вековой гармоники, возможны колебания температуры за счёт второй и третьей гармоник, которые, как и на анализируемом временном отрезке, не превысят 0,8 °С.

5. На период до 2050 г. в Северном Казахстане наиболее вероятен ход осадков с небольшими климатическими колебаниями с максимумами в настоящее время и в тридцатые годы XXI века и с минимумом около 2020-2025 гг., амплитуда колебаний ± 20 мм от нормы.

6. Несмотря на то, что в ближайшие десятилетия ожидается понижение температуры в регионе, способствующее понижению испарения, а осадки ожидаются около нормы, адаптационные мероприятия в сельском хозяйстве необходимы ввиду большой межгодовой изменчивости количества осадков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований были получены следующие результаты:

1. Показано, что в течение XX века в регионе имели место несколько статистически значимых климатических колебаний температуры и количества осадков. В динамике осадков самым значительным по амплитуде был их рост в самом начале XX века, условия и образования которого в работе рассмотрены. На станциях, расположенных в лесостепной зоне, число случаев с избыточным увлажнением превышает их число на станциях степной зоны. За период 1936-2008 гг. средние многолетние нормы осадков, на всех рассматриваемых станциях Северного Казахстана, начиная с 1981 года, возрастают, причем значительное изменение отмечается в холодное время года. На станции Петропавловск многолетняя норма осадков холодного периода увеличилась с 61 до 111 мм, а на остальных станциях она изменялась в пределах 15-39 мм. Климатическое увеличение летних осадков находилось в пределах 2-30 мм. Рост количества осадков после 2000 г. происходит на фоне климатического понижения температуры. Наибольшая изменчивость межгодового количества имеет место на станциях Петропавловск и Кокшетау. Снижение годовой суммы осадков происходит с запада на восток и с севера на юг, как в теплый, так и в холодный сезоны.

Повторяемость сухих и влажных периодов, как показатель изменчивости климата, существенно менялась в течение XX века. Из рассматриваемых станции Северного Казахстана наибольшей повторяемостью избыточно влажных и сухих периодов отличаются станции Петропавловск и Кокшетау. И в холодный, и в теплый периоды на рассматриваемых станциях чаще наблюдаются отрицательные аномалии сумм осадков. Поэтому снижение годовой суммы осадков с запада на восток происходит за счет уменьшения осадков, как в теплый, так и в холодный период. За период с 1936 по 2008 гг. число случаев с дефицитом осадков за теплое полугодие изменялось от 13

до 24. Начиная с 1980 г. имеет место увеличение влажных периодов. Повторяемость сухих и влажных периодов заметно изменяются по территории.

2. Изучена динамика количества осадков во взаимосвязи с макроциркуляционными процессами. В период увеличения повторяемости макропроцессов формы Ш и уменьшение – формы С (1981–2008 гг.) отмечался рост количества осадков в теплый и холодный периоды.

Корреляционный анализ при $I_{NAO}>0$ и $I_{NAO}<0$ между аномалиями осадков и развитии разных форм циркуляции в Северном Казахстане показал, что при положительных значениях индексов САК связь лучше выражена, чем при отрицательных значениях. Значимые коэффициенты корреляции между аномалиями осадков и индексами NAO выявлены лишь для отдельных месяцев. Наибольшее влияние индексов NAO имеет место зимой. Таким образом, формирование положительных аномалий осадков имеет большую связь с циркуляционной активностью Северного полушария, которая благоприятно действует на земледелие в вегетационный период.

3. Значительные осадки в Северном Казахстане наблюдаются в основном в летнее время, следует отметить, что прослеживается некоторое увеличение количество обильных осадков. За период 2003-2013 гг. их число варьировало от 3 до 10 раз, количество осадков при этом составляло 25-73 мм. При анализе синоптических условий выделено шесть типов процессов, при которых имеют место значительные ливни. Чаще всего они связаны с прохождением холодных фронтов (78 %) при западных и северо-западных вторжениях и реже (22 %) – с внутримассовыми процессами. При выпадении обильных ливней воздух характеризовался неустойчивой стратификацией. Контрасты температуры в зоне фронта у поверхности земли изменялись в пределах 3-10 °С. Сумма дефицитов точек росы на трех изобарических поверхностях была порядка 3-12 °С для фронтальных условий, и 7-15 °С - для внутримассовых.

4. Рассчитана повторяемость числа суток с осадками, превышающими 0,1 и 5,0 мм и их пространственно-временная изменчивость, что может служить

основой для их прогноза. Проанализировав статистики характеристик осадков, установлены их пределы изменения как во времени (от декады к декаде), так и в пространстве (от станции к станции). Удалось обнаружить, что наибольшие экстремумы всех статистик наблюдаются в основном на ст. Кокшетау, за исключением максимумов для Q1 и Q5, которые отмечаются на ст. Астана. Это обстоятельство позволяет думать о существовании здесь каких-то реперных атмосферных особенностей, например, влияния орографии (Кокчетавская возвышенность), свойства которых можно было бы использовать при долгосрочном прогнозировании декадного числа суток с осадками и количества осадков.

5. Выполнена оценка химизма осадков над Северным Казахстаном и их возможные кислотные воздействия на растительность и почвы. Получено, что анионы SO_4^{2-} составляют около 40 % в общей сумме анионов. Вклад нитратного аниона NO_3^- составляет 10 %. Суммарный вклад анионов, способствующих закислению, близок к 50 %. Из катионов, нейтрализующих влияние сульфатов и нитратов, преобладающими являются Ca^{2+} и Na^+ .

Антропогенные выбросы, содержащиеся в осадках, в отдельных случаях могут оказать разовое отрицательное воздействие на растительность и почву, однако, в целом условия для закисления почв в регионе не наблюдается.

6. Гармоники временных рядов метеорологических станций в пределах региона Северного Казахстана обладают большим сходством. Гармоники во временных рядах осадков не обладают достаточной сходимостью. В то же время гармоники в рядах осадков мало меняются по территории, и это позволяет при построении сценария на перспективу применять метод «ближайших соседей». Применительно к осадкам при построении прогноза на перспективу более целесообразно использовать связи между климатическими изменениями осадков и колебаниями индексов общей циркуляции атмосферы. Построенный сценарий изменения климата показывает, что температура в регионе в ближайшие десятилетия будет понижаться, примерно на 2°C к 2050 г. В ходе осадков климатический максимум осадков имеет место в настоящее

время, а второй ожидается в тридцатые годы XXI века с минимумом между ними в двадцатые годы. Отклонения от нормы не превысит ± 20 мм.

Условия для сельскохозяйственной деятельности, следовательно, в ближайшие десятилетия не претерпит существенных изменений. В то же время ввиду большей межгодовой изменчивости осадков адаптационные мероприятия в отрасли к таким колебаниям необходимы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Программы устойчивого развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2009-2011 годы. //Постановление Правительства Республики Казахстан – № 1060 - Астана, 2009.

2. Программа по развитию агропромышленного комплекса в Республике Казахстан на 2010-2014 годы. //Постановление Правительства Республики Казахстан – № 1052 - Астана, 2010.

3. Послание народу Казахстана «Казахстан-2050: Новый политический курс состоявшегося государства». //Стратегия «Казахстан-2050» - Астана, 2012.

4. Жексенбаева, А.К. Классификация атмосферных осадков, и типичные для них формы циркуляции для северных районов Казахстана. [Текст] /А.В. Чередниченко//Материалы Международной научно-практической конференции на тему «Центральная Азия исследования XIX–XXI вв. К 175-летию со дня рождения Н.М. Пржевальского» - Бишкек, Каракол: 2014 – С. 183-187.

5. Жексенбаева, А.К. Макроциркуляционные условия влажных и сухих периодов северных районов Казахстана. [Текст] /А.К. Жексенбаева //Труды III Международной научно-практической на тему «Проблемы совершенствования управления природными и социально-экономическими процессами на современном этапе», посвященной Всемирному дню охраны окружающей среды" – Бишкек, Екатеринбург: 2016. - С.81-85.

6. Батталов, Ф.З. Многолетние колебания атмосферных осадков и вычисление норм осадков. [Текст] / Ф.З. Батталов. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. - 183 с.

7. Дроздов, О.А. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. [Текст] / О.А. Дроздов, А.С. Григорьева.– Л.: Гидрометеиздат. - 158 с.

8. Гирс, А.А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. [Текст] / А.А. Гирс.- Л.: Гидрометеиздат, 1974.– 280 с.
9. Литвинова, О.С. Атмосферная циркуляция избыточно влажных и сухих периодов Обь - Иртышского междуречья. [Текст] / О.С. Литвинова, Н.В. Гуляева //Вестник Томского государственного университета 2009. - №329. - С.262-266.
10. Литвинова, О.С. Анализ временных рядов осадков Обь -Иртышского междуречья в XX - начале XXI вв. [Текст] / О.С. Литвинова, Н.В. Гуляева //Сборник научных трудов кафедры ЮНЕСКО Югорского государственного университета. Динамика окружающей среды. - 2010. - № 1. – С.38-45.
11. Наставление по службе прогнозов.– М.: Гидрометеиздат, 1971. Раздел II. Часть 5. – С.5-17.
12. Положение о сборе сведений и порядке предупреждений об особо опасных метеорологических явлениях. – М.: Гидрометеиздат, 1972.- С. 4-7.
13. Дейчева, В.Г. Аэросиноптические условия выпадения обильных осадков на территории Казахстана. [Текст] / В.Г. Дейчева // Труды КазНИГМИ – 1978. – Вып. 72. – С. 86-99.
14. Климат Казахстана. [Текст] //Под ред. А.С. Утешева. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1959. – 367 с.
15. Голубов, Р.С. Синоптико-климатическое описание Казахстана. [Текст] / Р.С. Голубов //Труды КазНИГМИ, 1956. - Вып 6. – С. 3-21.
16. Серебрякова, А.А. Аэросиноптический анализ условий выпадения обильных дождей на севере Казахстана. [Текст] / А.А. Серебрякова, Е.В. Гребенюк //Труды КазНИГМИ, 1956. – Вып. 6. – С. 60-67.
17. Чередниченко, А.В. Изменение климата Казахстана и возможности адаптации за счет доступных водозапасаов облачности. [Текст] /А.В. Чередниченко - Бишкек: Илим, 2009. – 260 с.

18. Агаркова, А.П. Структура многолетнего годового хода осадков в Казахстане. [Текст] / А.П. Агаркова //Труды КазНИГМИ, 1959. - Вып 43. - С 25-37.

19. Гребенюк, Е.В. Синоптические условия возникновения обильных снегопадов в Казахстане. [Текст] / Е.В. Гребенюк, Т.А. Дулетова //Труды КазНИГМИ, 1959. - Вып 10. – С. 92-103.

20. Жексенбаева, А.К. Синоптические условия выпадения обильных осадков на территории Северного Казахстана в вегетационный период. [Текст] / А.К. Жексенбаева, Л.М. Шушарина //Вестник КазНУ, Серия географическая №1 (30). – Алматы: «Қазақ университеті», 2010. - С.19-27.

21. Синоптические процессы Средней Азии /В.А. Бугаев, В.А. Джорджио и др. – Ташкент: Изд. АН Узбекской ССР, 1957. - 447 с.

22. Жексенбаева, А.К. Статистические характеристики осадков в Северном Казахстане. [Текст] / А.К. Жексенбаева //Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – Бишкек:.. 2016. - №5. – С.

23. Жексенбаева, А.К. Особенности распределения осадков в холодный период в Северном Казахстане [Текст] / А.К. Жексенбаева // Вестник КазНУ, Серия географическая, 2010. №1(30). – С.110-115.

24. Жексенбаева, А.К. Климатические особенности распределения атмосферных осадков в Северном Казахстане. [Текст] / А.Ж. Бижанова, А.К. Жексенбаева, А.С. Нысанбаева //Вестник КазНУ, Серия географическая №1 (42). – Алматы: «Қазақ университеті», 2016. - С.100-106.

25. Жексенбаева, А. К. Распределение количества осадков за теплый и холодный периоды по территории Казахстана за последнее десятилетие. [Текст] / А.К. Жексенбаева //Вестник КыргУ, Серия естественные науки, 2013. - С.80-84.

26. Чередниченко, А.В. Динамика климата Северного Казахстана и адаптационные мероприятия в сельском хозяйстве. [Текст] / А.В. Чередниченко, В.С. Чередниченко, А.К. Жексенбаева //Материалы

международной научно-практической конференции на тему «Современные проблемы биотехнологии: от лабораторных исследований к производству. – Алматы: «Қазақ университеті», 2016. - С.153-154.

27. Рябошапко, А.Г. Закисление атмосферных осадков в западных районах СССР А.Г. [Текст] / Рябошапко //Метеорология и гидрология, 1984. - №2, - С.39-45.

28. Петренчук, О.П. Экспериментальные исследования атмосферного аэрозоля. [Текст] / О.П. Петренчук -Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 264 с.

29. Сороковикова, Л.М. Влияние атмосферных осадков на химический состав речных вод Южного Байкала. [Текст] / Л.М. Сороковикова, О.Г. Нецветаева, И.В. Томберг и др. //«Оптика атмосферы и океана», 2004. - Т.17. - №5-6. - С.423-427.

30. Маринайте, И.И. Многолетние исследования атмосферных выпадений в Иркутске [Текст] / И.И. Маринайте, Л.П. Голобокова, О.Г. Нецветаева и др. //Известия Иркутского Госуд. Унив., серия «Науки о Земле», 2013 .- Т.6, - №2, - С.138-147.

31. Gallowey, J. N. Acidification of the world: natural and anthropogenic. [Text] / J. N. Gallowey. //Water, Air and Soil Pollut. 2001. V.130. №1/4. - P. 17-24.

32. Lavrinenko, R. Seasonal trends of N compound concentrations and wet deposition: Abstract. [Text] / R. Lavrinenko // Acid rain 2000. 6-th Int. Conf. on acidic Deposition. Sukuba, Dec. 2000. Kluwer academic Publishers, 2000, - P.79.

33. Acidic deposition and aquatic ecosystems. Regional case studies /Ed. D.F. Charls, Springer-Verlag, 1991, - 774 p.

34. Takahashi, A. Long-term in nitrate to non seasolt sulfate ratio in precipitation collected in western Japan. [Text] / A. Takahashi, S. Fujita //Atmos. Environ. 2000. V.34. P.4551-4555.

35. Likens, G. S. Acid precipitation. [Text] / G. S. Likens //Chem. Eng. News, 1976, Nov. 22.

36. Чередниченко, В.С. Сравнительный анализ концентраций загрязняющих веществ в атмосферных осадках и в снежном покрове [Текст] /В.С. Чередниченко, А.С. Мадибеков. //Научный журнал Вестник КРСУ. Серия географическая. – Бишкек, 2011– С.

37. Жексенбаева, А.К. Загрязняющие вещества в осадках и их влияние на почвы Северного Казахстана [Текст] /А.К. Жексенбаева, А.В. Чередниченко, А.В. Чередниченко и др. //Международный научный журнал «Молодой ученый» №21 (125) – Казань: 2016. – С. 254-258.

38. Ветров, В.А. Кислотность атмосферных осадков и атмосферные выпадения серы и азота в Арктической зоне Российской Федерации по данным мониторинга химического состава снежного покрова. [Текст] / В.А. Ветров, В.В. Кузовкин, Д.А. Манзон.- Арктика: экология и экономика №3 (15), 2014, - С. 46-51.

39. Кожухметова, Э.П. О точности воспроизведения температуры и осадков глобальным климатическим архивом CRU TS 2.1 на территории Казахстана. [Текст] / Э.П. Кожухметова, А.Р. Загидуллина, А.Б. Аппазова //Вестник КазНУ, Серия экологическая №2/1(38) – Алматы: «Қазақ университеті», 2013. - С.78-84.

40. Вилесов, Е.Н., Науменко А.А., Веселова Л.К., Аубекеров Б.Ж. Физическая география Казахстана [Текст] / Под общ. ред. Науменко А.А. Учебное пособие. – Алматы: Қазақ университеті, 2009. - 362 с.

41. Жильцова, Е.Л. О точности воспроизведения температуры и осадков на территории России глобальным климатическим архивом. Казахстана [Текст] / Е.Л. Жильцова, О.А. Анисимов //Метеорология и Гидрология. – 2009. - № 10. – 79-89.

42. Груза, Г.В. О неопределённости некоторых сценарных климатических прогнозов температуры воздуха и осадков по территории и России. [Текст] / Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова, Л.Н. Аристова и др. //Метеорология и гидрология. - 2006. - №10. - С.5-23.

43. Чередниченко, А.В. Изменение климата, как отклик на его глобальные изменения. [Текст] / А.В. Чередниченко. //Гидрометеорология и экология. – Алматы: - 2010, № 1. – С. 17-26.
44. Чередниченко, А.В. Временные ряды температуры и осадков. Статистический анализ. [Текст] / А.В. Чередниченко и др.– Алматы: 2013. – 366 с.
45. Чередниченко, А.В., Чередниченко А.В., Чередниченко В.С. Климатические циклы во временных рядах температуры над Казахстаном. Начало цикла похолодания. [Текст] / А.В. Чередниченко, А.В. Чередниченко В.С. Чередниченко //Гидрометеорология и экология. - Алматы: 2013. №4. - С.3-26.
46. Cherednichenko, A.V. 2015. Climate change in the City of Almaty during the past 120 years Quaternary International journal. [Text] / Alexander Cherednichenko, Alexey Cherednichenko, V.S. Cherednichenko //homepage: www.elsevier.com/locate/quaint.
47. Чередниченко, А.В. Изменчивость температуры над территорией Восточного Казахстана. [Текст] / А.В. Чередниченко. //Метеорология и гидрология в Кыргызстане. – Бишкек: Изд. Кыргызско-Российского (Славянского) университета, 2002.- Вып. 2. - С. 31 – 42.
48. Чередниченко, А.В. Проявление динамики индексов циркуляции для Атлантико-Европейского сектора во временных рядах температуры и осадков. [Текст] / А.В. Чередниченко // Гидрометеорология и экология, - 2009, № 1. – С. 27-36.
49. Чередниченко, А.В. Динамика климата Казахстана. Начало эпохи похолодания. [Текст] / А.В. Чередниченко – Алматы: 2015. – 208 с.
50. Пилифосова, О.В. О тенденциях увлажнения территории Казахстана. [Текст] / О.В. Пилифосова. //Труды КазНИГМИ. -1990. – Вып. 105. – С. 77-88.

51. Пилифосова, О.В. Мониторинг атмосферных осадков в регионе «Казахстан – Средняя Азия» [Текст]: дис. канд-та геогр. наук. / О.В. Пилифосова. – М.: НИИ НГИ России. - 1992. – 147 с.
52. Пилифосова, О.В. Об изменении климата Приаралья и уровня Аральского моря. [Текст] / О.В. Пилифосова. //Труды КазНИГМИ. -1988. – Вып. 100. – С. 35-45.
53. Пилифосова, О.В. О тенденциях изменения климата Приаралья и их учете при прогнозе уровня Аральского моря. [Текст] / О.В. Пилифосова. //Труды КазНИГМИ. -1988. – Вып. 102. – С. 64-71.
54. Пилифосова, О.В. Вероятностный сверхдолгосрочный прогноз полей изменений сумм осадков в регионе «Казахстан – Средняя Азия». [Текст] / О.В. Пилифосова. //Труды КазНИГМИ. -1991. – Вып. 111. – С. 66-75.
55. Всемирный фонд дикой природы. [Электронный ресурс]: akokorin@wwf.ru
56. Европейский центр среднесрочных прогнозов. / Данные температуры станция CRUTEM4. [Электронный ресурс]: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/crutem4/station-data.htm>
57. Данные Гидрометцентра России. Наблюдаемые климатические тренды в средних сезонных полях температуры. [Электронный ресурс]: <http://meteoinfo.ru/climate/2015-05-25-13-36-16/3468-clim-trend-s>
58. Дроздов, О.А. Климатология. [Текст] / О.А. Дроздов, В.А. Васильев, Н.В. Кобышева и др. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. — 568 с.
59. For Climatology Sixteenth session. Heidelberg, 3-8 July 2014. Abridged final report with resolutions and recommendations. WMO - № 1137. - P. 68.
60. Belokrylova, T., Bulygina O., Razuvaev Temperature Pattern variability on the USSR Territory in 1931–1990. [Text] / T. Belokrylova, O. Bulygina, Razuvaev. // Proceedings of the Sixteenth Annual Climate Diagnostics Workshop, Los Angeles, October 28 – November 1 1991. Los Angeles: Dept. of Atmospheric Sciences University of California, 1992. - P.173 – 178.

61. Леонова, Г.В. Аномалия осадков в июле в южной половине Европейской территории СССР, на юге Западной Сибири и в северной части Казахстана и некоторые возможности ее прогнозирования. [Текст] / Г.В. Леонова, Т.А. Богданова //Тр. ГМЦ СССР, 1975. – Вып. 166. – С. 312-315.

62. Байдал, М.Х. Долгосрочные прогнозы погоды и колебания климата Казахстана. [Текст] / М.Х. Байдал. - Л.: Гидрометеиздат, 1964. -Ч. 1, 2. - 446 с.

63. Ежедневная норма индекса NAO. [Электронный ресурс]: <http://cpc.ncep.noaa.gov/.../norm.daily.ao.index.b500101.curr...>

64. WMO operations manual for chemical constitutions in air and precipitation. WMO №299, World Meteorological Organization. Geneva, 1974.

65. РД 52.04.186-89 //Методические указания по определению химического состава осадков. – М.: 1991. – 90 с.

66. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. /Под редакцией А.Д. Семёнова. - Л.: Гидрометеиздат, 1977.-471 с.

67. Гирс, А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. [Текст] / А.А. Гирс. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. - 488 с.

68. Гирс, А.А., Методы долгосрочных прогнозов погоды. [Текст] / А.А. Гирс, К.В. Кондратович. - Л.: Гидрометеиздат, 1978. - 343 с.

69. Национальный Атлас Республики Казахстан. Природные условия и ресурсы. //Институт географии. – Алматы: – 2010. – Т.1. – 150 с.

70. Атлас Казахской ССР. – М.: ГУГК, 1982. Т. 1. – 300 с.

71. Агроклиматический справочник по Северо-Казахстанской области. - Л.: Гидрометеиздат, 1958. - 128 с.

72. Агроклиматический справочник по Кокчетавской области. - Л.: Гидрометеиздат, 1958. – 128 с.

73. Агроклиматический справочник по Кустанайской области. - Л.: Гидрометеиздат, 1958. – 148 с.

74. Агроклиматический справочник по Павлодарской области. - Л.: Гидрометеиздат, 1958. – 130 с.

75. Научно-прикладной справочник по климату СССР. //Многолетние данные. Казахская ССР. Серия 3. Книга 1.- :Л.: Гидрометеиздат, 1989. - Вып.18. - Ч. 1-6. – 515 с.
76. Справочник по климату СССР – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – Вып.18. – Ч. 4. – 550 с.
77. Справочник по климату Казахстана. //Многолетние данные. - Алматы: Казгидромет, 2004. - Вып.1-14.
78. Попова, В.В. Влияние Североатлантического колебания на многолетний гидротермический режим Северной Евразии. I. Статистический анализ данных наблюдений. [Текст] / В.В.Попова, А.Б. Шмакин. //Метеорология и гидрология. 2003. - № 5. - С. 62-74..
79. Барашкова, Н.К. Прогноз режима увлажнения в теплый период года на юге Западной Сибири. [Текст] / Н.К. Барашкова //Оптика атмосферы и океана. 2006. - Т. 19. - № 1. – С. 59-63.
80. Нестеров, Е.С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. [Текст] / Е.С. Нестеров. – М.: Триада, 2013. – 144 с.
81. Walker, G.T. Memoirs of Royal Meteorology Society. [Text] / G.T. Walker, E.W. Bliss. – 1932. Vol. 4. Issue 36. – P. 53-84.
82. Ойо, С.О. [Текст] / С.О. Ойо, Е.А. Афиесимама. //Бюллетень ВМО, 2000. - Т.49. - №3. – С. 312-315.
83. Завалишин, Н.Н. О норме метеоэлементов, климате и методах их оценки. [Текст] /Н.Н. Завалишин //Тр. СибНИИГМИ, 2000. –Вып.103.– С.11-17.
84. Гуляева, Н.В. Климат г. Барабинска в XX веке. [Текст] /Н.В. Гуляева, В.В. Костюков //Известия РАН, Серия Географическая. 2006.- №6. – С. 106-113.
85. Гуляева, Н.В. Пространственно-временная изменчивость атмосферного увлажнения лесостепи Урала и Западной Сибири в вегетационный период. [Текст] / Н.В. Гуляева, В.В. Костюков. // Метеорология и гидрология. – 2003. - №2. – С.97-102.

86. Байдал, М.Х. Комплексный макроциркуляционный метод долгосрочных прогнозов погоды. [Текст] / М.Х. Байдал. - Л.: Гидрометеиздат, 1961.-211 с.

87. Байдал, М.Х. Колебания климата Кустанайской области в XX столетии [Текст] /М.Х. Байдал. – Л.: Гидрометеиздат, 1971–155 с.

88. Лакин, Г.Ф. Биометрия. Учебное пособие для университетов и педагогических институтов. [Текст] / Г.Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1973. – 343 с.

89. Бондарь, Г.М. Характеристика декадных сумм осадков в Северном Казахстане. [Текст] /Г.М. Бондарь // Тр. КазНИГМИ. – 1977.- Вып.60. –С. 41-43.

90. Ахметова, Г.С. Условия формирования и методика прогноза месячного числа дней с осадками в теплом полугодии в Казахстане. [Текст]: дис. ... канд. географ. наук: 11.00.09. / Г.С. Ахметова. – М.: 1983. – 108 с.

91. Дроздов, О.А. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. [Текст] / О.А. Дроздов, А.С. Григорьева. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 157 с.

92. Кобышева, Н.В. Климатологическая обработка метеорологической информации. [Текст] / Н.В. Кобышева, Г.Я. Наровлянский. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 294 с.

93. Дроздов, О.А. Основы климатологической обработки метеорологических наблюдений. [Текст] / О.А. Дроздов. – Л.: Гидрометеиздат, 1956. – 302 с.

94. Кобышева, Н.В. Сколько характеристик у климата. [Текст] / Н.В. Кобышева. //Человек и стихия. – 1988. – С. 37-38.

95. Брукс, К. Применение статистических методов в метеорологии. [Текст] / К. Брукс, Н. Карузертс – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 416 с.

96. Гиббс, У. Дж. Определение климата. [Текст] / У. Дж. Гиббс. //Бюллетень ВМО, - 1987. – Т. 36. - № 4. – С. 373-381.

97. Gibbs, W.J. A Drought – watch System. [Text] / W.J. Gibbs. // World Climate Programme Report. 1987. № 134. – 120 p.

98. Чичасов, Г.Н. Об аппроксимации распределений месячных сумм осадков системой вероятностных кривых Пирсона. [Текст] / Г.Н. Чичасов. //Труды Казгидромета, 1985. – Вып. 92. – С.77-92.

99. Douglas, A.V. Concurrent and lagged relationships between precipitation frequency and 700 mb heights. [Text] / A.V. Douglas, P.J. Engelhart. //Proc. Ninth Ann. Climate Diag. Workshop, Covollis, OR. NOAA. – 1985. № 3. – P. 331-340.

100. The Stockholm conference on acidification of the environment.- Report from the expert meetings. 21-24 June 1982. SCA/MC/3. Stockholm, Sweden, 1982.

101. Palmen E. Atmospheric circulation systems. Their structure and physical interpretation. [Text] / E. Palmen, C.W. Newton. Academic press, New York and London, 1969. – 615 p.

102. Груза, Г.В. Вероятностные метеорологические прогнозы. [Текст] / Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова. - Л.: Гидрометеиздат, 1983.-270 с.

103. Груза, Г.В. Мониторинг и вероятностный прогноз короткопериодных колебаний климата. //В кн.: 60 лет центру гидрометеорологических прогнозов. [Текст] / Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова. - Л.: Гидрометеиздат, 1989. - С.148-170.

104. Груза Г.В. Схема вероятностного адаптивного метеорологического прогноза (групповые аналоги) с оптимизацией состава предикторов. [Текст] / Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова. //Труды Гидрометцентра СССР.-1989. - Вып. 306. - С. 38-55.

105. Жильцова, Е.Л., Анисимов О.А. О точности воспроизведения температуры и осадков на территории России глобальным климатическим архивом. [Текст] / Е.Л. Жильцова, О.А. Анисимов. //Метеорология и гидрология. - 2009. - №10. - С.79-89.

106. Fekete V.M. Uncertainties in precipitation and their impacts on runoff estimates. [Text] / V.M. Fekete, C.J. Vorosmarty, J.O. Roads. //J. of climate. 2004. - №1. - P. 293-304.

107. Sneers, R. On the statistical analysis of series of observations. [Text] / R. Sneers WMO – №415. 1990. – 193 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Обобщенные статистические характеристики пространственного и временного распределения декадных осадков

Таблица 1. Временное распределение коэффициентов асимметрии

№ декады	\bar{A}	σ	min	max	\bar{A}	σ	min	max
N1				N5				
1	0,20	0,30	-0,48	0,60	1,10	0,41	0,55	1,96
2	0,27	0,11	0,09	0,48	1,17	0,50	0,62	2,02
3	0,24	0,32	-0,10	0,92	1,01	0,59	0,37	2,59
4	0,25	0,19	-0,08	0,67	1,09	0,24	0,81	1,61
5	0,42	0,25	-0,13	0,73	1,32	0,47	0,68	2,22
6	0,53	0,22	0,09	0,83	1,46	0,39	0,68	2,09
7	0,58	0,17	0,23	0,94	1,57	0,43	1,08	2,35
8	0,36	0,15	0,18	0,71	1,33	0,27	0,93	1,86
9	0,52	0,28	0,02	1,02	1,44	0,37	0,97	2,29
10	0,20	0,23	-0,13	0,71	1,29	0,44	0,75	2,11
11	0,45	0,19	0,11	0,81	1,79	0,42	0,93	2,61
12	0,20	0,32	-0,34	0,69	1,56	0,58	0,51	2,52
Q1				Q5				
1	1,76	0,86	0,62	3,52	1,93	0,91	0,73	3,93
2	1,69	0,68	0,43	2,74	1,70	0,64	0,55	3,02
3	1,73	0,52	1,04	2,79	1,91	0,61	1,21	3,10
4	1,93	0,76	1,10	3,89	2,23	0,87	1,35	4,51
5	1,73	0,49	1,03	2,53	2,06	0,63	1,15	3,27
6	1,63	0,66	1,01	3,44	1,76	0,45	1,21	2,76
7	2,27	1,06	0,82	4,35	2,81	1,14	1,18	4,70
8	1,46	0,46	0,86	2,68	1,89	0,54	1,25	3,35
9	1,42	0,39	0,94	2,10	1,85	0,55	1,10	2,91
10	1,32	0,55	0,42	2,40	1,98	0,74	1,06	3,47
11	1,52	0,45	0,73	2,55	2,32	0,87	1,13	3,65
12	1,52	0,59	0,57	2,83	2,14	0,80	0,89	3,91

Таблица 2 Пространственное распределение коэффициентов асимметрии

№ станции	\bar{A}	σ	min	max	\bar{A}	σ	min	max
N1				N5				
1	0,42	0,32	-0,04	0,94	1,43	0,54	0,37	2,52
2	0,26	0,19	-0,08	0,51	1,35	0,42	0,85	2,29
3	0,26	0,24	-0,07	0,79	1,33	0,55	0,68	2,31
4	0,36	0,25	-0,09	0,67	1,34	0,43	0,63	1,95
5	0,51	0,22	0,11	0,74	1,54	0,46	0,68	2,14
Q1				Q5				
1	1,81	0,50	0,98	2,74	2,13	0,44	1,35	3,02
2	1,57	0,46	0,79	2,35	2,04	0,68	0,91	3,17
3	1,94	0,51	1,01	2,68	2,36	0,63	1,32	3,47
4	2,17	1,04	0,72	3,88	2,61	1,19	1,47	4,65
5	1,81	0,63	1,22	3,52	2,42	0,73	1,85	4,51

Таблица 3. Временное распределение коэффициентов эксцесса

№ декады	$\bar{\Xi}$	σ	min	max	$\bar{\Xi}$	σ	min	max
N1				N5				
1	-0,48	0,33	-0,95	0,12	1,04	1,61	-0,59	4,50
2	-0,38	0,32	-0,83	0,47	1,59	2,04	-0,33	5,10
3	-0,36	0,48	-1,01	0,78	1,28	3,17	-0,76	10,50
4	-0,65	0,28	-1,09	-0,16	0,66	1,12	-0,33	3,69
5	-0,41	0,39	-1,10	0,40	1,46	2,30	-0,76	8,10
6	-0,32	0,46	-0,96	0,46	2,27	1,69	-0,74	5,64
7	-0,35	0,36	-0,81	0,53	2,29	2,23	0,20	6,64
8	-0,58	0,42	-1,27	0,11	1,14	0,90	-0,30	3,03
9	-0,13	0,70	-0,99	1,61	1,69	1,84	-0,40	5,73
10	-0,52	0,39	-0,89	0,39	1,23	1,72	-0,55	4,41
11	-0,14	0,40	-0,77	0,56	3,32	2,24	0,34	8,66
12	-0,36	0,44	-0,91	0,91	2,73	2,70	-0,48	8,25
Q1				Q5				
1	4,64	5,08	-0,38	17,56	5,23	5,67	-0,27	20,46
2	3,55	3,22	-0,60	9,58	3,30	3,26	-0,78	12,01
3	4,01	3,30	0,39	11,53	4,80	4,12	0,88	14,09
4	5,05	5,45	0,47	20,06	6,61	6,89	1,01	25,47
5	3,61	2,79	0,08	9,41	4,96	3,70	0,44	12,29
6	3,35	3,92	0,23	14,88	3,35	2,56	0,44	9,38
7	7,16	7,32	-0,76	24,02	10,43	8,85	0,16	26,88
8	2,30	2,69	-0,47	10,31	3,79	3,39	0,59	13,65
9	1,94	1,69	-0,03	4,97	3,53	2,82	-0,07	9,61
10	2,11	2,65	-0,58	8,27	4,73	4,51	0,77	14,50
11	2,77	2,71	-0,07	9,82	6,69	6,54	1,09	25,79
12	3,18	3,29	-0,14	11,26	6,08	5,41	0,26	19,93

Таблица 4. Пространственное распределение коэффициентов эксцесса

№ станции	$\bar{\Xi}$	σ	min	max	$\bar{\Xi}$	σ	min	max
N1				N5				
1	-0,25	0,59	-0,92	0,88	1,94	2,49	-0,73	8,25
2	-0,52	0,33	-0,99	0,02	1,63	1,79	-0,08	5,57
3	-0,54	0,35	-1,00	0,38	1,75	2,04	-0,76	4,97
4	-0,40	0,44	-1,00	0,40	1,41	1,63	-0,59	3,96
5	-0,16	0,37	-0,74	0,56	2,43	2,11	-0,74	5,73
Q1				Q5				
1	3,83	2,85	0,31	9,58	5,08	2,99	1,34	12,01
2	3,00	2,37	-0,22	8,13	5,22	3,98	0,02	12,33
3	5,00	3,04	0,48	10,31	6,76	4,06	1,52	14,40
4	6,99	7,21	-0,57	20,06	9,40	9,52	1,22	27,79
5	4,28	4,26	1,18	15,56	7,24	6,10	2,30	24,69

Таблица 5. Временное распределение средних значений

№ декады	\bar{X}	σ	min	max	размах	A	Э
N1							
1	3,42	0,45	2,64	3,96	1,29	-0,36	-1,32
2	3,66	0,27	3,17	4,04	0,87	-0,33	-1,14
3	3,86	0,43	3,13	4,64	1,51	0,17	-0,66
4	3,41	0,40	2,76	3,94	1,18	-0,31	-1,21
5	2,76	0,42	2,15	3,32	1,17	-0,07	-1,48
6	3,27	0,42	2,58	4,17	1,59	0,33	0,20
7	2,57	0,53	1,74	3,32	1,58	-0,20	-1,41
8	2,86	0,43	2,10	3,49	1,39	-0,15	-0,94
9	3,05	0,52	2,31	3,92	1,61	0,17	-1,05
10	3,41	0,29	2,84	3,94	1,10	-0,26	-0,10
11	3,49	0,35	3,02	4,13	1,11	0,40	-0,94
12	4,50	0,43	3,84	5,44	1,60	0,32	0,25
N5							
1	0,94	0,22	0,63	1,26	0,63	0,14	-1,53
2	1,10	0,23	0,75	1,57	0,82	0,43	-0,58
3	1,11	0,26	0,62	1,62	1,00	0,28	-0,03
4	0,90	0,23	0,52	1,36	0,84	0,45	-0,40
5	0,66	0,17	0,38	0,89	0,51	-0,21	-0,94
6	0,78	0,18	0,43	1,06	0,63	-0,34	-0,56
7	0,54	0,16	0,30	0,78	0,48	-0,18	-1,31
8	0,55	0,13	0,38	0,79	0,41	0,54	-0,75
9	0,55	0,17	0,31	0,91	0,60	0,67	0,19
10	0,57	0,17	0,40	0,92	0,52	0,93	-0,43
11	0,46	0,17	0,19	0,92	0,73	1,15	3,26
12	0,60	0,22	0,40	1,25	0,85	1,88	4,37

Продолжение табл. 5.

№ декады	\bar{X}	σ	min	max	размах	A	Э
Q1							
1	15,08	3,49	9,39	20,34	10,95	-0,26	-1,39
2	19,18	3,39	14,33	23,86	9,53	-0,05	-1,41
3	18,27	4,33	10,69	25,99	15,30	0,35	-0,46
4	15,14	3,45	8,90	20,47	11,57	-0,05	-0,71
5	11,06	3,01	5,83	14,53	8,70	-0,30	-1,41
6	12,28	2,75	7,88	15,75	7,87	-0,29	-1,37
7	8,66	2,06	5,19	12,23	7,04	-0,05	-0,85
8	9,03	1,27	6,31	11,22	4,91	-0,02	0,59
9	8,66	1,80	5,96	12,16	6,20	0,45	-0,11
10	9,60	1,62	7,27	12,38	5,11	0,33	-1,15
11	8,39	2,23	5,01	14,82	9,81	1,51	4,80
12	10,43	2,55	5,97	17,90	10,93	1,89	4,98
Q5							
1	11,11	2,99	6,58	16,62	10,04	0,05	-0,96
2	14,71	3,09	10,03	19,07	9,04	-0,08	-1,33
3	13,74	4,05	6,29	21,20	14,91	0,26	-0,42
4	10,91	3,14	4,95	15,91	10,96	-0,01	-0,54
5	7,66	2,71	3,05	11,20	8,15	-0,26	-1,39
6	8,18	2,24	4,54	12,02	7,48	0,04	-0,70
7	5,49	1,65	3,06	8,42	5,36	-0,10	-0,92
8	5,38	1,31	3,82	8,41	4,59	0,93	0,51
9	4,83	1,60	2,90	8,71	5,81	1,23	1,50
10	5,11	1,53	3,51	8,12	4,61	0,88	-0,12
11	4,16	1,84	1,57	9,71	8,14	1,94	6,03
12	5,05	2,21	2,88	11,90	9,02	2,34	6,69

Таблица 6. Пространственное распределение средних значений

№ станции	\bar{X}	σ	min	max	размах	A	Э
N1							
1	3,32	0,50	2,66	4,36	1,70	0,89	0,29
2	3,85	0,43	3,32	4,68	1,36	0,58	-0,34
3	3,60	0,53	2,87	4,64	1,77	0,62	-0,25
4	3,10	0,59	1,92	4,26	2,34	-0,07	1,20
5	3,00	0,57	2,15	3,89	1,74	0,07	-1,10
N5							
1	0,67	0,23	0,36	1,13	0,77	0,54	-0,51
2	0,83	0,36	0,42	1,40	0,98	0,53	-1,24
3	0,75	0,45	0,19	1,62	1,43	0,72	-0,41
4	0,63	0,19	0,28	0,98	0,70	0,10	-0,02
5	0,53	0,18	0,29	0,87	0,58	0,60	-0,81
Q1							
1	11,59	3,77	7,95	17,40	9,45	0,71	-1,39
2	13,58	4,88	8,54	22,23	13,69	0,51	1,35
3	12,80	6,72	5,01	25,99	20,98	0,95	-0,11
4	11,11	3,88	5,79	17,27	11,48	0,43	-1,28
5	9,15	3,18	5,83	15,08	9,25	0,89	-0,32
Q5							
1	7,55	3,69	3,87	12,87	9,00	0,56	-1,62
2	8,94	5,00	3,56	17,31	13,75	0,43	-1,52
3	8,65	6,46	1,57	21,20	19,63	0,93	-0,20
4	7,36	3,31	2,84	12,49	9,65	0,19	-1,44
5	5,43	2,84	2,35	10,35	7,98	0,76	-0,93

Таблица 7. Временное распределение средних квадратических отклонений

№ декады	$\bar{\sigma}$	σ	min	max	размах	A	Э
N1							
1	1,99	0,15	1,77	2,27	0,50	0,62	-0,34
2	2,03	0,20	1,69	2,49	0,80	0,66	0,77
3	2,16	0,24	1,88	2,58	0,70	0,74	-0,59
4	2,02	0,19	1,66	2,28	0,62	-0,52	-0,65
5	1,96	0,19	1,64	2,26	0,62	-0,03	-0,66
6	2,20	0,22	1,91	2,67	0,76	0,62	-0,14
7	1,83	0,25	1,40	2,15	0,75	-0,26	-1,39
8	2,03	0,22	1,50	2,41	0,91	-0,72	1,04
9	2,04	0,28	1,45	2,43	0,98	0,62	-0,25
10	2,11	0,21	1,64	2,41	0,77	-0,85	0,63
11	2,12	0,14	1,90	2,32	0,42	-0,10	-1,33
12	2,31	0,26	1,83	2,75	0,92	-0,24	-0,17
N5							
1	1,04	0,17	0,76	1,31	0,55	-0,17	-0,94
2	1,15	0,14	0,98	1,51	0,53	0,96	1,40
3	1,12	0,23	0,81	1,57	0,76	0,61	-0,46
4	1,03	0,19	0,67	1,42	0,75	-0,02	0,34
5	0,88	0,11	0,64	1,05	0,41	-0,66	-0,18
6	0,97	0,15	0,70	1,21	0,51	-0,64	-0,11
7	0,79	0,14	0,54	1,02	0,48	-0,22	-1,02
8	0,78	0,12	0,53	0,99	0,46	-0,47	0,34
9	0,79	0,17	0,58	1,12	0,54	0,47	-0,69
10	0,79	0,13	0,61	1,03	0,42	0,51	-0,68
11	0,73	0,15	0,44	0,98	0,54	-0,44	-0,40
12	0,83	0,12	0,72	1,07	0,35	1,07	-0,15

Продолжение табл. 7.

№ декады	$\bar{\sigma}$	σ	min	max	размах	A	Э
Q1							
1	15,38	3,22	9,55	20,95	11,40	-0,15	-0,28
2	19,46	2,87	15,73	24,74	9,01	0,43	-0,96
3	17,86	4,29	12,19	24,78	12,59	0,39	-1,28
4	17,14	4,68	8,60	24,24	15,64	0,09	-0,65
5	12,74	3,59	7,46	20,78	13,32	0,59	0,26
6	12,96	3,28	8,56	20,43	11,87	0,58	0,28
7	10,85	2,77	7,21	18,64	11,43	1,57	3,75
8	9,73	1,13	7,46	12,15	4,69	-0,10	1,37
9	8,92	1,78	6,53	12,14	5,61	0,36	-1,02
10	9,21	2,00	6,11	13,27	7,16	0,39	-0,57
11	8,19	1,74	4,74	11,81	7,07	-0,21	0,86
12	8,97	1,62	6,38	12,39	6,01	0,32	0,17
Q5							
1	14,69	3,34	8,80	20,79	11,99	0,11	-0,36
2	18,50	2,35	15,49	23,12	7,63	0,63	-0,78
3	17,21	4,25	11,03	24,21	13,18	0,29	-1,36
4	16,02	4,33	8,60	23,34	14,74	0,12	-0,68
5	11,91	3,88	6,35	18,92	12,57	0,30	-1,07
6	11,22	2,48	7,21	14,76	7,55	-0,14	-1,58
7	10,04	2,74	6,40	17,99	11,59	1,75	4,52
8	8,50	1,35	6,95	11,79	4,84	1,45	2,02
9	7,55	1,68	5,05	10,85	5,80	0,64	-0,28
10	7,93	1,99	5,16	11,74	6,58	0,34	-0,90
11	7,18	1,74	3,88	10,89	7,01	-0,02	0,68
12	7,62	1,53	5,33	11,31	5,98	0,76	1,13

Таблица 8. Пространственное распределение средних квадратических отклонений

№ станции	$\bar{\sigma}$	σ	min	max	размах	A	Э
N1							
1	2,01	0,20	1,64	2,27	0,63	-0,50	-0,63
2	2,25	0,24	1,93	2,67	0,74	0,32	-0,91
3	2,17	0,18	1,91	2,56	0,65	0,45	0,60
4	1,92	0,22	1,40	2,35	0,95	-0,55	3,32
5	1,89	0,13	1,69	2,15	0,46	0,23	0,41
N5							
1	0,91	0,21	0,62	1,24	0,62	0,49	-1,04
2	1,00	0,24	0,67	1,42	0,75	0,62	-0,37
3	0,88	0,32	0,44	1,38	0,94	0,25	-1,42
4	0,85	0,17	0,53	1,18	0,65	0,02	0,70
5	0,75	0,15	0,54	1,03	0,49	0,95	0,32
Q1							
1	12,71	4,63	7,01	23,06	16,05	0,93	0,71
2	13,24	4,90	7,49	22,59	15,10	0,74	-0,65
3	13,42	6,81	4,74	24,78	20,04	0,70	-0,81
4	13,33	5,58	5,66	23,77	18,11	0,38	-0,66
5	9,91	3,42	6,07	16,06	9,99	0,76	-0,78
Q5							
1	11,67	4,80	5,49	21,87	16,38	0,82	0,09
2	12,20	5,30	6,14	22,00	15,86	0,70	-0,88
3	12,34	7,04	3,88	24,21	20,33	0,66	-1,07
4	12,51	5,41	5,52	22,80	17,28	0,41	-0,79
5	9,13	4,01	4,56	16,72	12,16	0,89	-0,25

Таблица 9. Временное распределение медианы

№ декады	\bar{Me}	σ	min	max	размах
N1					
1	3,37	0,72	2	4	2
2	3,57	0,50	3	4	1
3	3,87	0,64	3	5	2
4	3,40	0,63	2	4	2
5	2,70	0,46	2	3	1
6	2,93	0,59	2	4	2
7	2,47	0,52	2	3	1
8	2,57	0,56	2	4	2
9	2,93	0,70	2	4	2
10	3,40	0,51	3	4	1
11	3,33	0,49	3	4	1
12	4,53	0,74	3	6	3
Q1					
1	11,09	4,09	5,1	17,6	12,5
2	13,23	4,39	7,9	24,0	16,1
3	13,15	3,02	7,4	19,3	11,9
4	9,01	2,39	5,2	14,6	9,4
5	6,94	2,75	2,3	10,9	8,6
6	8,55	2,80	4,3	13,0	8,7
7	5,18	1,93	1,8	8,0	6,2
8	5,74	1,38	3,3	9,0	5,7
9	6,06	1,67	3,3	9,5	6,2
10	7,11	1,83	5,2	11,2	6,0
11	6,00	1,98	3,8	12,3	8,5
12	8,04	2,55	4,6	15,6	11,0

Таблица 10. Пространственное распределение медианы

№ станции	\bar{Me}	σ	min	max	размах
N1					
1	3,25	0,62	2	4	2
2	3,75	0,62	3	5	2
3	3,58	0,79	3	5	2
4	3,00	0,60	2	4	2
5	2,67	0,65	2	4	2
Q1					
1	7,58	3,01	5,2	13,8	8,6
2	9,97	3,91	5,6	16,2	10,6
3	9,14	5,20	4,1	19,3	15,2
4	6,51	2,29	3,7	10,8	7,1
5	6,26	2,39	2,6	10,8	8,2

Таблица 11. Временное и пространственное распределение моды для N1

№ декады	\bar{Mo}	σ	min	max	размах
Временное					
1	3,13	1,30	1	5	4
2	3,13	0,99	2	5	3
3	3,87	1,55	1	6	5
4	3,33	1,63	1	6	5
5	2,07	1,28	0	4	4
6	2,13	0,92	1	4	3
7	1,60	1,18	0	4	4
8	2,47	1,46	0	4	4
9	2,20	1,15	0	4	4
10	3,13	0,99	2	5	3
11	3,13	1,13	1	5	4
12	4,33	1,40	3	7	4
Пространственное					
1	2,67	1,15	1	4	3
2	3,42	1,73	1	7	6
3	3,67	1,30	2	6	4
4	2,92	1,08	1	5	4
5	2,33	1,23	1	5	4

Таблица 12. Временное распределение максимальных значений

№ декады	$\overline{\text{Max}}$	σ	max	размах	A	Э
N1						
1	7,87	0,74	9	2	0,23	-0,97
2	8,40	0,83	10	3	-0,07	-0,22
3	8,87	1,06	11	4	0,30	-0,23
4	7,80	1,01	9	3	-0,49	-0,60
5	7,47	0,83	9	3	-0,31	-0,23
6	8,60	1,12	11	4	0,24	0,21
7	7,00	0,93	8	2	0,00	-1,97
8	7,40	1,30	9	4	-0,20	-10,1
9	8,20	1,21	10	4	-0,44	-0,007
10	8,13	0,92	10	4	-0,29	1,89
11	8,73	0,88	10	3	-0,12	-0,49
12	9,67	0,96	11	3	0,10	-0,68
N5						
1	4,20	0,94	6	3	0,74	0,16
2	4,73	0,59	6	2	0,09	-0,17
3	4,47	1,64	9	6	1,58	3,14
4	3,80	0,86	6	3	-1,20	1,80
5	3,33	0,72	5	3	0,68	0,95
6	4,00	1,00	6	4	0,00	0,41
7	3,13	0,74	5	3	0,98	2,20
8	2,93	0,59	4	2	0,00	0,54
9	2,93	0,80	4	2	0,13	-1,35
10	2,93	0,70	4	2	0,09	-0,67
11	3,07	0,80	2	2	-0,14	-1,78
12	3,40	0,51	3	1	0,46	-2,09

Продолжение табл. 12.

№ декады	$\overline{\text{Max}}$	σ	max	размах	A	Э
Q1						
1	73,53	24,37	120,8	85,7	0,66	-0,20
2	87,41	20,40	128,9	67,7	1,02	0,23
3	84,45	25,29	134,8	86,8	0,68	-0,14
4	80,31	29,85	151,0	101,2	1,28	0,89
5	57,72	19,54	95,8	64,2	0,60	-0,55
6	59,65	23,15	120,7	88,5	1,26	2,35
7	52,75	23,50	122,2	89,5	2,06	5,02
8	41,47	7,59	55,3	29,5	0,11	0,56
9	37,41	8,86	52,8	27,4	0,36	-1,08
10	40,13	12,82	72,2	47,8	1,01	1,39
11	36,29	8,59	48,2	26,7	-0,37	-0,94
12	41,75	9,16	58,8	33,4	0,16	-0,43
Q5						
1	68,97	24,18	119,9	87,2	0,87	0,29
2	79,12	17,20	122,9	64,0	1,38	2,05
3	80,14	24,65	129,8	81,8	0,89	0,14
4	74,63	27,31	148,0	101,5	1,59	2,77
5	53,61	20,59	88,2	59,7	0,55	-1,18
6	48,52	13,71	74,2	47,7	0,08	-0,69
7	50,95	22,42	117,3	89,7	1,93	5,07
8	36,44	8,86	54,0	28,9	1,02	0,32
9	31,29	8,27	46,6	24,2	0,61	-1,19
10	35,45	12,32	66,1	46,0	0,94	1,25
11	32,53	9,78	49,1	32,8	0,02	-0,93
12	35,15	7,88	49,5	26,7	0,09	-0,44

Таблица 13. Пространственное распределение максимальных значений

№ станции	\bar{M}_{ax}	σ	max	размах	A	Э
N1						
1	8,25	1,06	10	4	-0,59	0,89
2	9,08	0,90	11	3	0,71	0,53
3	8,58	0,90	10	3	0,15	-0,43
4	7,33	1,07	10	4	1,31	2,81
5	7,75	0,75	9	2	0,48	-0,87
N5						
1	3,50	1,31	6	4	0,58	-0,61
2	3,83	0,94	5	3	-0,41	-0,30
3	3,58	1,56	6	4	0,50	-1,35
4	3,25	0,87	5	3	0,44	0,23
5	3,00	0,95	5	3	0,76	0,16
Q1						
1	59,41	28,74	126,4	97,8	1,31	1,45
2	60,32	23,84	110,5	82,1	0,87	0,20
3	67,28	37,92	134,8	113,3	0,83	-0,63
4	68,96	40,05	151,0	128,1	0,68	-0,10
5	46,63	18,80	83,9	57,6	0,80	-0,56
Q5						
1	53,85	29,22	122,9	100,5	1,34	1,58
2	55,60	23,80	102,3	77,1	0,78	-0,39
3	59,63	35,99	129,8	111,1	0,83	-0,56
4	63,44	37,67	148,0	127,9	1,03	1,01
5	42,95	20,25	82,0	65,7	0,63	-0,59

Таблица 14. Временное распределение верхних квартилей

№ декады	\bar{X}	σ	min	max	размах
N1					
1	4,73	0,59	4	6	2
2	5,13	0,52	4	6	2
3	5,27	0,59	4	6	2
4	4,73	0,59	4	6	2
5	3,97	0,67	3	5	2
6	4,67	0,72	4	6	2
7	3,73	0,80	3	5	2
8	4,27	0,59	3	5	2
9	4,20	0,94	3	6	3
10	5,00	0,38	4	6	2
11	4,73	0,46	4	5	1
12	6,00	0,85	4	7	3
Q1					
1	21,32	6,40	11,8	34,6	22,8
2	26,16	5,82	15,7	35,5	19,8
3	25,93	6,98	15,0	39,0	24,0
4	21,58	5,03	12,2	31,3	19,1
5	16,16	4,21	8,6	22,8	14,2
6	17,14	3,64	10,0	22,7	12,7
7	12,18	4,07	6,9	22,6	15,7
8	13,52	2,33	8,8	17,3	8,5
9	12,69	2,93	8,0	19,2	11,2
10	14,13	2,67	10,7	19,4	8,7
11	12,32	4,13	6,1	25,0	18,9
12	14,16	3,86	10,0	26,2	16,2

Продолжение табл. 14.

№ декады	\bar{X}	σ	min	max	размах
Q5					
1	16,67	4,93	9,8	27,2	17,3
2	22,19	5,74	11,8	29,4	17,6
3	20,85	7,22	7,2	33,7	26,5
4	15,52	4,42	8,2	23,9	15,7
5	11,21	4,23	2,5	17,5	15,0
6	12,21	3,54	6,2	17,8	11,6
7	7,60	4,02	0,0	15,9	15,9
8	8,69	2,25	5,7	12,6	6,9
9	7,74	2,70	5,2	16,7	9,5
10	8,33	2,67	5,3	14,2	8,9
11	6,26	4,03	0,0	17,5	17,5
12	8,02	3,23	5,2	18,0	12,8

Таблица 15. Пространственное распределение верхних квартилей

№ станции	\bar{X}	σ	min	max	размах
N1					
1	4,50	0,80	3	6	3
2	5,42	0,79	4	7	3
3	5,00	0,85	4	6	2
4	4,25	0,87	3	5	2
5	4,21	0,66	3	5	2
Q1					
1	15,58	5,26	9,70	23,20	13,50
2	19,38	7,04	11,60	29,80	18,20
3	17,26	9,03	6,10	39,00	32,90
4	15,18	5,35	7,90	24,30	16,40
5	12,55	3,23	8,00	18,80	10,80
Q5					
1	11,23	5,11	6,3	19,6	13,3
2	13,78	7,18	5,2	23,9	18,7
3	11,95	9,33	0,0	33,7	33,7
4	9,86	5,04	0,0	18,4	18,4
5	7,55	3,36	2,5	12,2	9,7

Таблица 16. Временное распределение нижних квантилей

№ декады	\bar{X}	σ	min	max	размах
N1					
1	1,87	0,74	1	3	2
2	2,20	0,41	2	3	1
3	2,33	0,62	1	3	2
4	1,80	0,41	1	2	1
5	1,20	0,56	0	2	2
6	1,63	0,48	1	2	1
7	1,00	0,53	0	2	2
8	1,27	0,59	0	2	2
9	1,53	0,52	1	2	1
10	1,87	0,52	1	3	2
11	2,03	0,40	1	3	2
12	3,00	0,38	2	4	2
Q1					
1	4,01	2,20	0,8	8,3	7,5
2	5,07	1,69	2,6	8,5	5,9
3	5,59	2,01	2,2	9,7	7,5
4	3,47	2,32	0,5	9,3	8,8
5	1,49	1,13	0,0	3,1	3,1
6	2,84	1,29	0,9	5,8	4,9
7	1,22	0,88	0,0	2,8	2,8
8	1,46	1,03	0,0	3,5	3,5
9	1,76	0,95	0,6	4,0	3,4
10	2,63	1,39	0,9	5,5	4,6
11	2,30	0,96	1,2	4,6	3,4
12	4,27	1,88	2,2	9,8	7,6

Таблица 17. Пространственное распределение нижних квантилей

№ станции	\bar{X}	σ	min	max	размах
N1					
1	1,75	0,75	1	3	2
2	2,17	0,39	2	3	1
3	2,00	0,60	1	3	2
4	1,83	0,58	1	3	2
5	1,58	0,67	1	3	2
Q1					
1	2,90	1,86	1,3	7,0	5,7
2	3,96	1,88	1,4	7,6	6,2
3	3,59	2,55	0,9	9,7	8,8
4	2,37	1,42	0,8	5,0	4,2
5	1,88	1,29	0,4	4,4	4,0

Таблица 18. Временное распределение внутриквартильного размаха

№ декады	\bar{X}	σ	min	max	размах
N1					
1	2,87	0,64	2	4	2
2	2,93	0,70	2	4	2
3	2,93	0,59	2	4	2
4	2,93	0,46	2	4	2
5	2,77	0,56	2	4	2
6	3,03	0,77	2	4	2
7	2,73	0,80	2	4	2
8	3,00	0,65	2	4	2
9	2,70	0,75	1	4	3
10	3,13	0,35	3	4	1
11	2,70	0,59	2	4	2
12	3,03	0,97	1	4	3

Продолжение табл. 18.

№ декады	\bar{X}	σ	min	max	размах
Q1					
1	17,31	5,07	10,1	28,4	18,3
2	21,09	4,84	12,2	28,3	16,1
3	20,34	5,36	11,8	29,3	17,5
4	18,11	4,13	8,8	25,4	16,6
5	14,67	3,73	8,0	21,6	13,6
6	14,29	2,68	8,3	18,5	10,2
7	10,95	3,56	6,9	21,0	14,1
8	12,06	2,11	7,9	15,9	8,0
9	10,91	2,86	6,3	16,8	10,5
10	11,50	2,69	8,1	18,5	10,4
11	10,02	3,54	4,1	20,4	1,3
12	9,89	2,28	7,5	16,4	8,9
Q5					
1	16,67	4,93	9,8	27,2	17,3
2	22,19	5,74	11,8	29,4	17,6
3	20,85	7,22	7,2	33,7	26,5
4	15,52	4,42	8,2	23,9	15,7
5	11,21	4,23	2,5	17,5	15,0
6	12,21	3,54	6,2	17,8	11,6
7	7,60	4,02	0,0	15,9	15,9
8	8,69	2,25	5,7	12,6	6,9
9	7,74	2,70	5,2	16,7	9,5
10	8,33	2,67	5,3	14,2	8,9
11	6,26	4,03	0,0	17,5	17,5
12	8,02	3,23	5,2	18,0	12,8

Таблица 19. Пространственное распределение внутриквартильного размаха

№ станции	\bar{X}	σ	min	max	размах
N1					
1	2,75	0,75	2	4	2
2	3,25	0,62	2	4	2
3	3,00	0,60	2	4	2
4	2,42	0,67	1	3	2
5	2,63	0,48	2	3	1
Q1					
1	12,68	4,10	8,1	19,3	11,2
2	15,42	5,68	8,9	22,3	13,4
3	13,67	6,72	4,1	29,3	25,2
4	12,81	4,67	6,7	21,2	14,5
5	10,66	2,31	7,6	14,4	6,8
Q5					
1	11,23	5,11	6,3	19,6	13,3
2	13,78	7,18	5,2	23,9	18,7
3	11,43	8,11	0,0	27,5	27,5
4	9,36	5,04	0,0	18,4	18,4
5	7,55	3,36	2,5	12,2	9,7