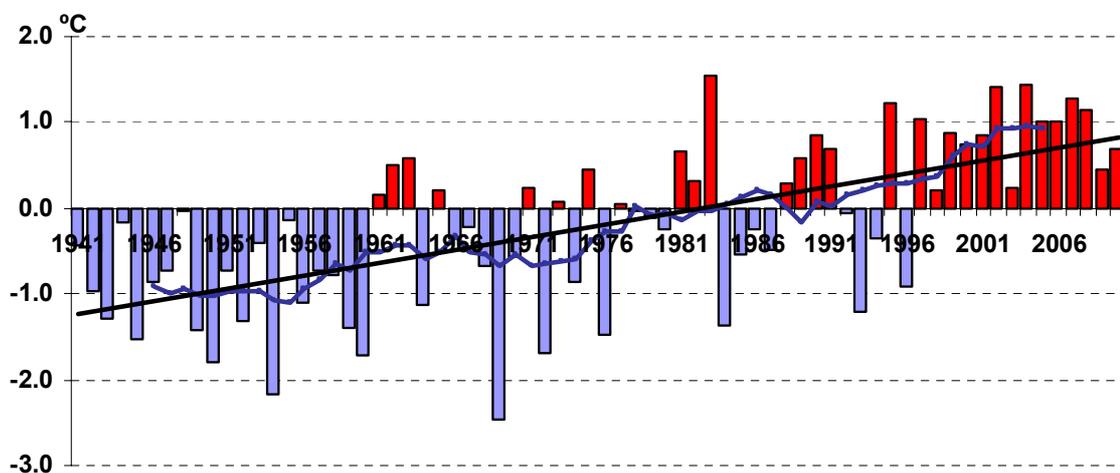




Министерство охраны окружающей среды
Республики Казахстан

Республиканское государственное
предприятие «Казгидромет»

***ЕЖЕГОДНЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ МОНИТОРИНГА
ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА КАЗАХСТАНА:
2010 ГОД***



Астана, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА	5
1.1 Наблюдаемые изменения глобальной температуры воздуха у поверхности Земли	5
1.2 Наблюдаемые изменения температуры воздуха на территории Казахстана	7
1.3 Аномалии температуры воздуха на территории Казахстана в 2010 г.	12
1.4 Тенденции в экстремумах температуры приземного воздуха	17
2. АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ	20
2.1 Наблюдаемые изменения количества осадков на территории Казахстана	20
2.2 Аномалии количества осадков на территории Казахстана в 2010 г.	23
2.3 Тенденции в экстремумах количества атмосферных осадков	29
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	31

ВВЕДЕНИЕ

Изменение климата является одной из важнейших международных проблем 21 века, которая выходит за рамки научной проблемы и представляет собой комплексную междисциплинарную проблему, охватывающую экологические, экономические и социальные аспекты устойчивого развития любой страны. Поэтому изучение климата и проведение постоянного мониторинга изменения климата Казахстана является одной из приоритетных задач национальной гидрометслужбы РГП «Казгидромет».

С 2010 года национальная гидрометеорологическая служба осуществляет выпуск ежегодных бюллетеней о состоянии климата Казахстана для предоставления достоверной научной информации о климате, его изменчивости и изменении. Данный бюллетень описывает климатические условия, наблюдавшиеся в 2010 г., включая оценку экстремальности метеорологических элементов, и предоставляет историческую информацию относительно изменчивости и тенденций, которые имели место, начиная с 40-ых годов прошлого столетия. Принимая во внимание географическое положение Казахстана и его большую территорию, наблюдаемые изменения климатических условий в различных регионах Республики могут оказать как негативное, так и позитивное воздействие на биофизические системы, на экономическую деятельность и социальную сферу. В этой связи обеспечение устойчивого развития также требует лучшего понимания климатической системы, что дает возможность оценки будущих климатических изменений и их потенциальных последствий.

Исходные данные. Для подготовки бюллетеня использовались данные Республиканского гидрометеорологического фонда РГП «Казгидромет»:

1) ряды среднемесячных температур воздуха и месячных сумм осадков с 1941 по 2010 гг., при этом данные более 190 метеостанций были использованы для оценки климатических норм за период 1971...2000 гг. и более 110 метеостанций для оценки тенденций;

2) ряды суточных максимальных и минимальных температур воздуха и суточного количества осадков с 1941 по 2010 гг. (более 80 метеостанций).

Основные подходы и методы. Под «нормой» в бюллетене понимается среднемноголетнее значение рассматриваемой климатической переменной за период 1971...2000 гг. Аномалии температуры рассчитываются как отклонения наблюденного значения от нормы. Аномалии количества осадков принято рассматривать как в отклонениях от нормы (аналогично температуре), так и в процентах от нормы, то есть как процентное отношение количества выпавших осадков к значению нормы. Вероятность непревышения характеризует частоту (в %) появления соответствующего значения аномалии в ряду наблюдений.

Оценка тенденций температуры приземного воздуха и количества осадков проведена как по данным отдельных станций, так и в среднем для 8-ми водохозяйственных бассейнов и Казахстана в целом путем аппроксимации рядов наблюдений линейной функцией с использованием метода наименьших квадратов. Средние для территории величины аномалий метеорологических переменных рассчитаны путем осреднения станционных данных об аномалиях. Границы водохозяйственных бассейнов представлены на карте-схеме ниже.

1 ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА

1.1 Наблюдаемые изменения глобальной температуры воздуха у поверхности Земли

По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), начиная с середины 20 века в большинстве регионов Земного шара наблюдается повышение приземной температуры воздуха. Современные оценки показывают, что среднегодовая глобальная температура приземного слоя воздуха с начала 20 века увеличилась на $0,74 \pm 0,18$ °C (1906...2005 годы), хотя потепление за этот период не было постоянным. Потепление продолжалось с начала 20 века до 40-х годов, затем до 70-х годов наблюдалось небольшое похолодание, и с середины 70-х по настоящее время отмечается интенсивное потепление (рисунок 1.1). За последние 50 лет в среднем по земному шару температура воздуха увеличивалась на $0,13$ °C \pm $0,03$ °C каждые 10 лет.

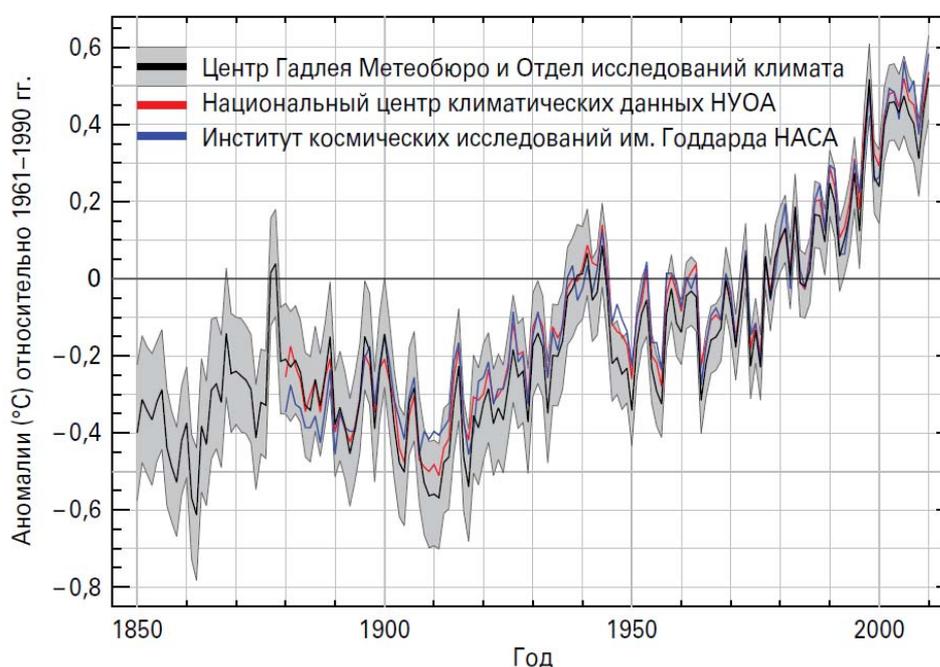


Рисунок 1.1 – Годовые аномалии средней глобальной температуры с 1850 по 2010 гг. по данным Центра Гадлея Метеобюро и Отдела исследований климата Университета Восточной Англии, Соединенное Королевство (черная линия показывает среднее значение, серая зона – 95 % диапазон неопределённости), Национального центра климатических данных (красная линия) и Института космических исследований им. Годдарда, США. Аномалии рассчитаны относительно базового периода 1961...1990 гг. (Источник: Центр Гадлея Метеобюро, и Отдел исследований климата Университета Восточной Англии, Соединенное Королевство)

В соответствии с Заявлением Всемирной метеорологической организации о состоянии глобального климата (ВМО-№ 1074), 2010 год стал одним из трех самых теплых лет (наряду с 2005 и 1998 годами) за всю историю инструментальных наблюдений, начиная с 1850 г. (рисунок 1.2). В 2010 году средняя глобальная температура была на $0,53$ °C выше средней температуры базового периода ($14,0$ °C в 1961...1990 гг.). Для

сравнения, в 2005 г. глобальная температура была на 0,52 °С выше температуры базового периода, а в 1998 г. – на 0,51 °С. Таким образом, разница в значениях глобальной температуры этих трёх лет несколько ниже уровня неопределённости ($\pm 0,09^\circ\text{C}$).

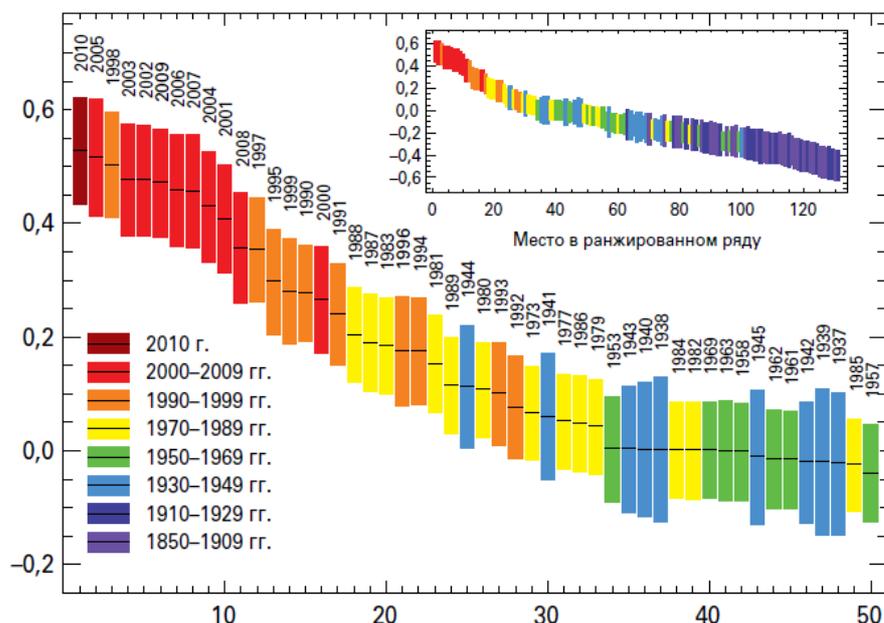


Рисунок 1.2 – Ранжированный ряд аномалий глобальной температуры приземного воздуха, представленный для 50-ти самых тёплых лет. Во вставке показан ранжированный ряд аномалий глобальной температуры приземного воздуха, начиная с 1850 г. Длина полос указывает на 95 % доверительный интервал для каждого года (Источник: Заявление ВМО о состоянии глобального климата в 2010 г.)

Десятилетие 2001...2010 гг. было также самым теплым за всю историю наблюдений. В это десятилетие температуры в среднем были на 0,46 °С выше средних значений за 1961...1990 гг. и на 0,21 °С выше, чем в предыдущем рекордном десятилетии 1991...2000 гг. (рисунок 1.3). В свою очередь, десятилетний период 1991...2000 гг. был теплее, чем предшествующие десятилетия, что говорит о длительной тенденции потепления.

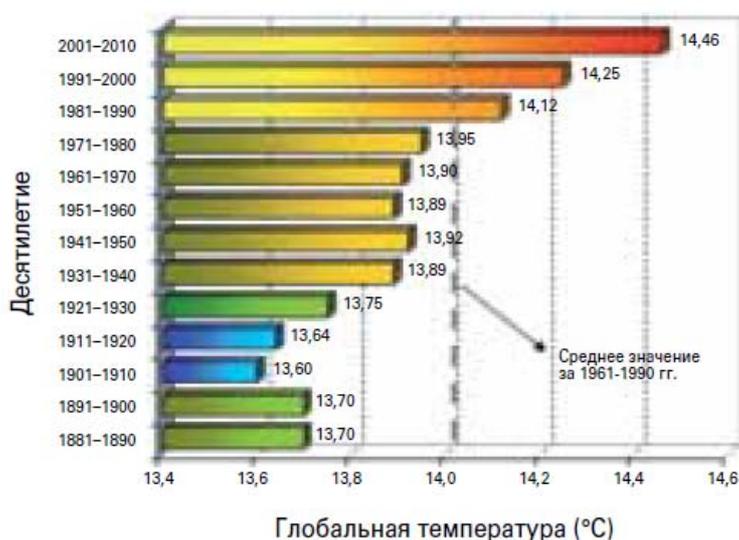


Рисунок 1.3 – Десятилетняя средняя глобальная приземная температура воздуха и океана (°C) на основе трех глобальных комплектов данных о температуре воздуха (источник: Центр Гадлея Метеобюро и Отдел исследований климата Университета Восточной Англии, Соединенное Королевство)

1.2 Наблюдаемые изменения температуры воздуха на территории Казахстана

Для сравнения в таблице 1.1 представлены самые тёплые годы в целом для Земного шара (по данным наземной сети) и Казахстана. На территории Казахстана распределение во времени экстремально тёплых лет несколько отличается от ранжированного ряда средней глобальной температуры приземного воздуха. Каждый из десяти самых теплых лет для Земного шара обозначен определенным цветом, что позволяет легко судить, находится ли этот год в числе самых теплых лет для Казахстана.

На рисунке 1.4 представлен ранжированный ряд аномалий среднегодовых температур приземного воздуха относительно базового периода 1971...2000 гг., осреднённых по данным более 110 метеостанций Казахстана с 1940 по 2010 гг. В десятку самых тёплых лет в Казахстане вошли следующие годы (в порядке убывания значения аномалии): 1983, 2004, 2002, 2007, 1995, 2008, 1997, 2006, 2005, 1999. Пять самых тёплых лет в Казахстане вошли в список десяти самых тёплых лет в целом по Земному шару.

По значению средней по Казахстану аномалии среднегодовой температуры воздуха, составившей 0,69 °С, 2010 год занял 14 место. За 70 последних лет самым холодным для Казахстана был 1969 год, когда средняя по территории аномалия среднегодовой температуры воздуха составила минус 2,45 °С, а самым тёплым – 1983 год с аномалией температуры воздуха 1,56 °С.

Таблица 1.1 – Ранги самых тёплых лет для Земного шара (за период 1850...2010 гг.) и Казахстана (за период 1940-2010 гг.) и соответствующие аномалии среднегодовой температуры приземного воздуха, осредненные по территории Казахстана.

Ранг	Земной шар	Казахстан	Аномалия среднегодовой температуры, осредненная по территории Казахстана, °С
1	2010	1983	1,56
2	2005	2004	1,43
3	1998	2002	1,41
4	2003	2007	1,28
5	2002	1995	1,21
6	2009	2008	1,15
7	2006	1997	1,05
8	2007	2006	1,01
9	2004	2005	1,01
10	2001	1999	0,88

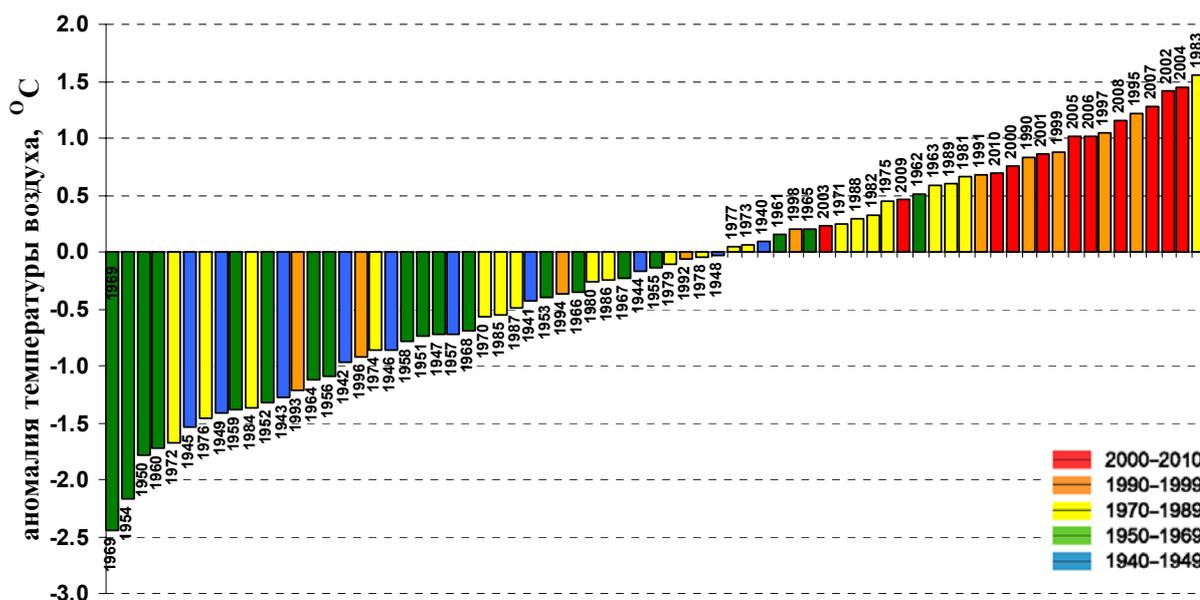


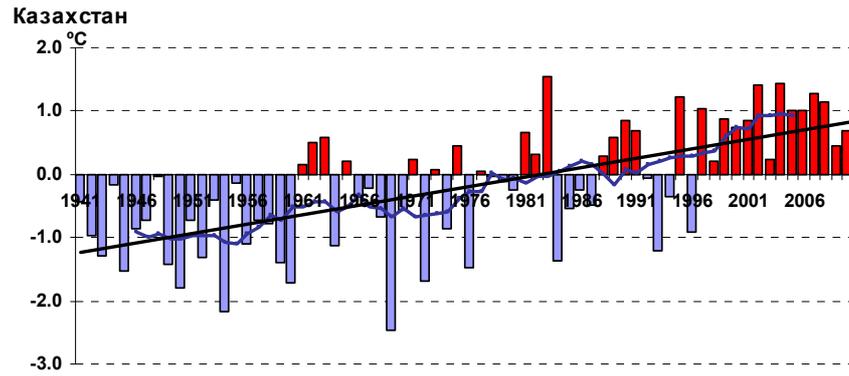
Рисунок 1.4 – Ранжированный ряд аномалий среднегодовых температур приземного воздуха, осреднённых по территории Казахстана за период 1940...2010 гг. (по данным 123 метеостанций). Аномалии рассчитаны относительно базового периода 1971...2000 гг.

Оценка пространственно-временных изменений температуры воздуха за период 1941 г. по 2010 г. проводилась как в целом для Казахстана, так и для 8-ми водохозяйственных бассейнов (рисунок 1.5). С 80-ых годов прошлого века преобладают положительные аномалии температуры приземного воздуха, и потепление идет более высокими темпами. Например, если в период 1941...2010 гг. среднегодовая температура воздуха увеличивалась в среднем по Казахстану на 0,30 °C/10 лет, то в период 1971...2010 гг. скорость потепления составляла 0,39 °C/10 лет, при этом доля объяснённой трендом дисперсии более 30 %.

Повышение температуры в различных регионах Казахстана происходило различными темпами (таблица 1.2), однако в большинстве случаев тренды статистически значимы для 95 % доверительного интервала, а вклад тренда в суммарную дисперсию среднегодовых температур превышает 20 %. Рост среднегодовых температур воздуха в отдельных регионах Казахстана (таблица 1.2) за период 1941...2010 гг. составлял от 0,27 °C/10 лет (Балкаш-Алакольский бассейн) до 0,33 °C/10 лет (Есильский, Жайык-Каспийский бассейны). В последнее сорокалетие рост среднегодовых температур воздуха наиболее значительный – от 0,30 °C/10 лет (Ертисский бассейн) до 0,54 °C/10 лет (Арало-Сырдаринский бассейн).

За период 1971...2010 гг. наибольшими темпами повышалась температура в зимний и весенний периоды – на 0,51 и 0,47 °C/10 лет соответственно, немного ниже темпы потепления осенью – на 0,40 °C/10 лет. Летом рост температуры воздуха составлял 0,22 °C/10 лет.

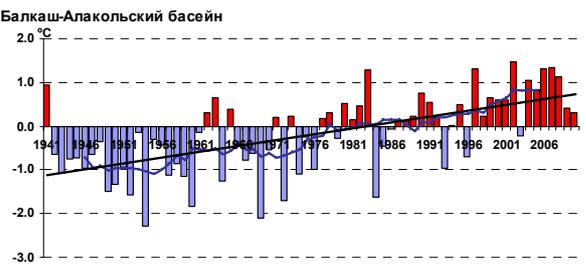
а)



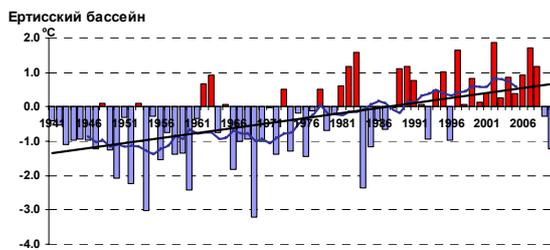
б)



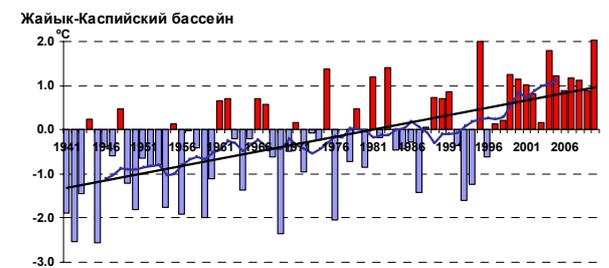
в)



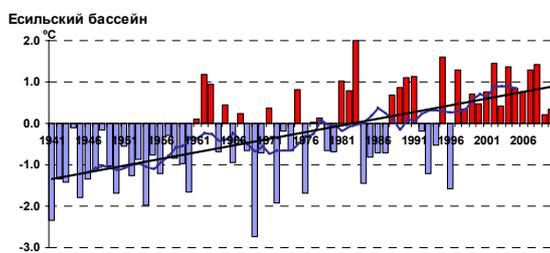
г)



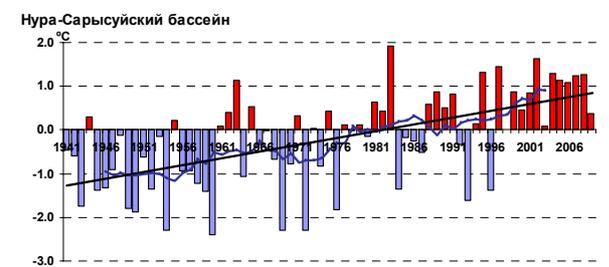
д)



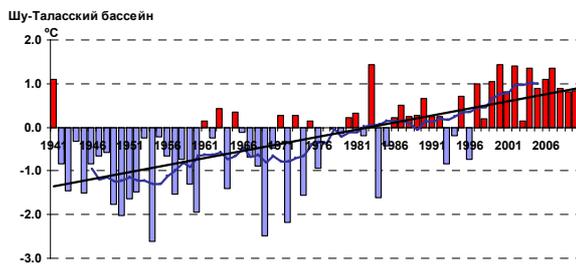
е)



ж)



з)



и)

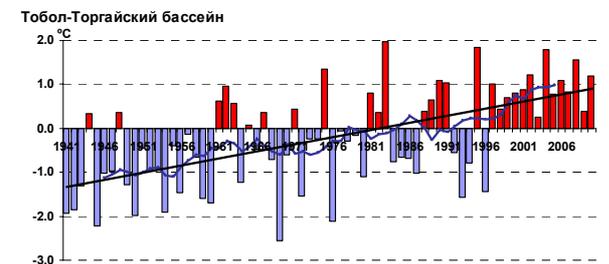


Рисунок 1.5 – Временные ряды и линейные тренды аномалий среднегодовых температур воздуха за период с 1941 по 2010 г., пространственно осреднённых по территории Казахстана и 8 водохозяйственных бассейнов. Аномалии рассчитаны относительно периода 1971...2000 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением.

Таблица 1.2 – Характеристики линейного тренда аномалий температуры приземного воздуха, осреднённых по территории Казахстана, а также 8-ми водохозяйственных бассейнов за периоды 1941...2010 гг. и 1971...2010 гг.

Регион/ бассейн	Период лет	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
		*а	**R ²	а	R ²	а	R ²	а	R ²	а	R ²
Казахстан	1941-2010	0,30	41	0,38	10	0,27	13	0,20	26	0,33	25
	1971-2010	0,39	30	0,51	8	0,47	14	0,22	13	0,40	11
Арало- Сырдаринский.	1941-2010	0,29	33	0,27	4	0,24	11	0,26	30	0,35	29
	1971-2010	0,54	41	0,75	14	0,61	21	0,35	21	0,44	16
Балкаш- Алакольский.	1941-2010	0,27	37	0,36	11	0,21	9	0,15	15	0,31	24
	1971-2010	0,35	29	0,41	7	0,50	16	0,17	9	0,36	12
Ертисский.	1941-2010	0,29	27	0,43	10	0,28	10	0,14	9	0,30	15
	1971-2010	0,30	13	0,25	2	0,54	15	0,15	5	0,33	6
Есильский	1941-2010	0,33	37	0,39	9	0,35	15	0,21	14	0,33	16
	1971-2010	0,37	19	0,43	4	0,44	9	0,19	4	0,46	9
Жайык- Каспийский	1941-2010	0,33	36	0,44	10	0,32	12	0,20	13	0,33	21
	1971-2010	0,42	24	0,66	10	0,32	5	0,31	9	0,38	9
Нура- Сарысузский	1941-2010	0,30	34	0,37	8	0,30	11	0,18	13	0,35	20
	1971-2010	0,39	23	0,45	5	0,62	17	0,13	3	0,41	9
Тобыл- Торгайский	1941-2010	0,32	35	0,42	9	0,31	9	0,22	15	0,32	16
	1971-2010	0,39	20	0,57	7	0,35	4	0,23	5	0,45	9
Шу-Таласский	1941-2010	0,32	41	0,36	7	0,21	8	0,29	38	0,42	36
	1971-2010	0,44	37	0,69	12	0,53	17	0,20	10	0,40	14

* а – коэффициент линейного тренда, °C/10 лет

** R² – коэффициент детерминации, %

На рисунке 1.6 представлен межгодовой ход аномалий температур воздуха, осредненных по сезонам и по территории Казахстана в период 1941...2010 гг. Рост температуры воздуха наблюдается во все сезоны, однако имеются некоторые сезонные и региональные особенности (таблица 1.2). В среднем по Казахстану наибольшая скорость потепления характерна для зимы и составляет 0,38 °C/10 лет, осенью и весной температура повышалась на 0,33 и 0,27 °C каждые 10 лет, соответственно, летом темпы были несколько ниже – на 0,20 °C/10 лет. Более детальная информация об изменении температуры воздуха (°C/10 лет) по территории водохозяйственных бассейнов Казахстана за период 1941...2010 гг. представлена на рисунке 1.7.

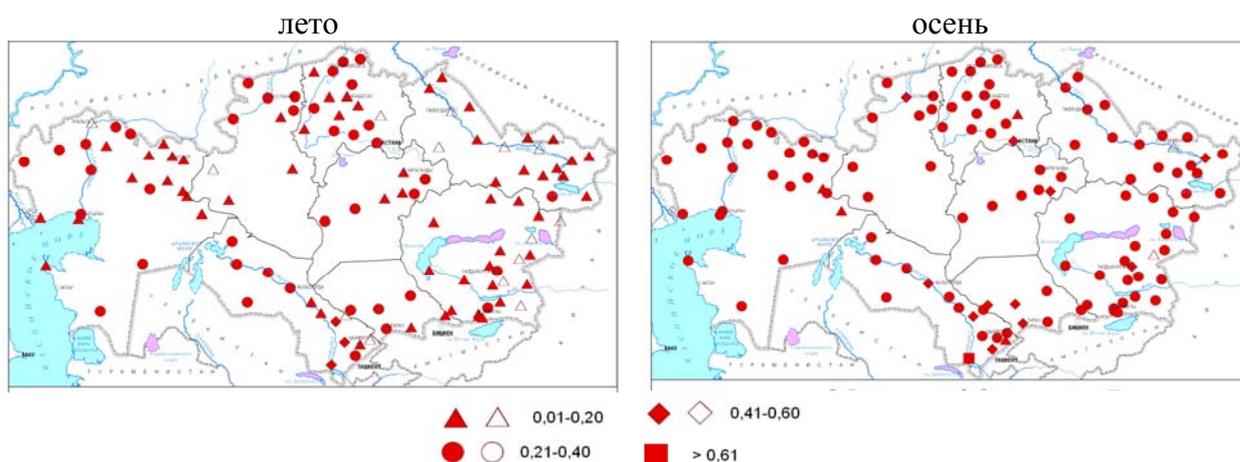


Рисунок 1.7 – Пространственное распределение значений коэффициента линейного тренда температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}/10$ лет), рассчитанного за период 1941...2010 гг. Обозначения градаций затушеваны в случаях статистической значимости тренда.

1.3 Аномалии температуры воздуха на территории Казахстана в 2010 году

2010 год (декабрь 2009 г. – ноябрь 2010 г.) в целом для территории Казахстана не вошел в 10 экстремально тёплых лет. Положительные аномалии температур (в пределах $1\text{-}2^{\circ}\text{C}$) наблюдались на большей части территории Казахстана, включая все области западного Казахстана, а также Южно-Казахстанскую, Кызылординскую, Жамбылскую области и западную половину Карагандинской области. Небольшие отрицательные аномалии – до 1°C , наблюдались только на территории ВКО. На остальной территории среднегодовая температура была в пределах $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ (рисунки 1.8 и 1.9, а).

Географическое распределение областей тепла и холода по территории страны в среднем за год (декабрь 2009 г. – ноябрь 2010 г.) и по сезонам представлено на рисунках 1.8 и 1.9.

Зима

Зима 2010 года (декабрь 2009 г. – февраль 2010 г.) была холодной и экстремально холодной на большей территории Казахстана (рисунки 1.8 и 1.9, б). Отрицательными аномалиями были охвачены все северные, восточные и частично западные области Казахстана. Экстремально низкие температуры (на $4\text{...}6^{\circ}\text{C}$ ниже нормы) наблюдались в Восточно-Казахстанской, Павлодарской, Северо-Казахстанской, Акмолинской и Кустанайской областях. По данным большинства метеостанций, расположенных в этих областях, зима вошла в 10 % самых холодных зимних сезонов. На юге республики, наоборот, зима была тёплой, положительные аномалии ($1\text{...}3^{\circ}\text{C}$) наблюдались в Южно-Казахстанской, частично в Кызылординской и Жамбылской областях. На всей остальной территории аномалия температура была в пределах $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Весна

Весна была тёплой почти во всей западной половине Казахстана, где положительные аномалии составили $1\text{...}2^{\circ}\text{C}$. Лишь в Восточно-Казахстанской области в весенний период температуры были ниже нормы на $1\text{...}3^{\circ}\text{C}$ (рисунки 1.8, в и 1.9, в). На остальной территории аномалии температуры были в пределах $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Лето

Лето 2010 года было экстремально тёплым во всей западной половине республики (рисунки 1.8, г и 1.9, г), где температуры превышали норму на 3...5 °С. По данным всех метеостанций данного региона лето вошло в 10 % самых жарких летних сезонов. В восточной половине республики аномалия температуры была в пределах ± 1 °С.

Осень

Осень была экстремально тёплой почти на всей территории Казахстана. Аномалии температуры достигали 2...3 °С, и по данным большинства метеостанций осень вошла в 10 % самых тёплых сезонов, начиная с 1941 года (рисунки 1.8 и 1.9, д).

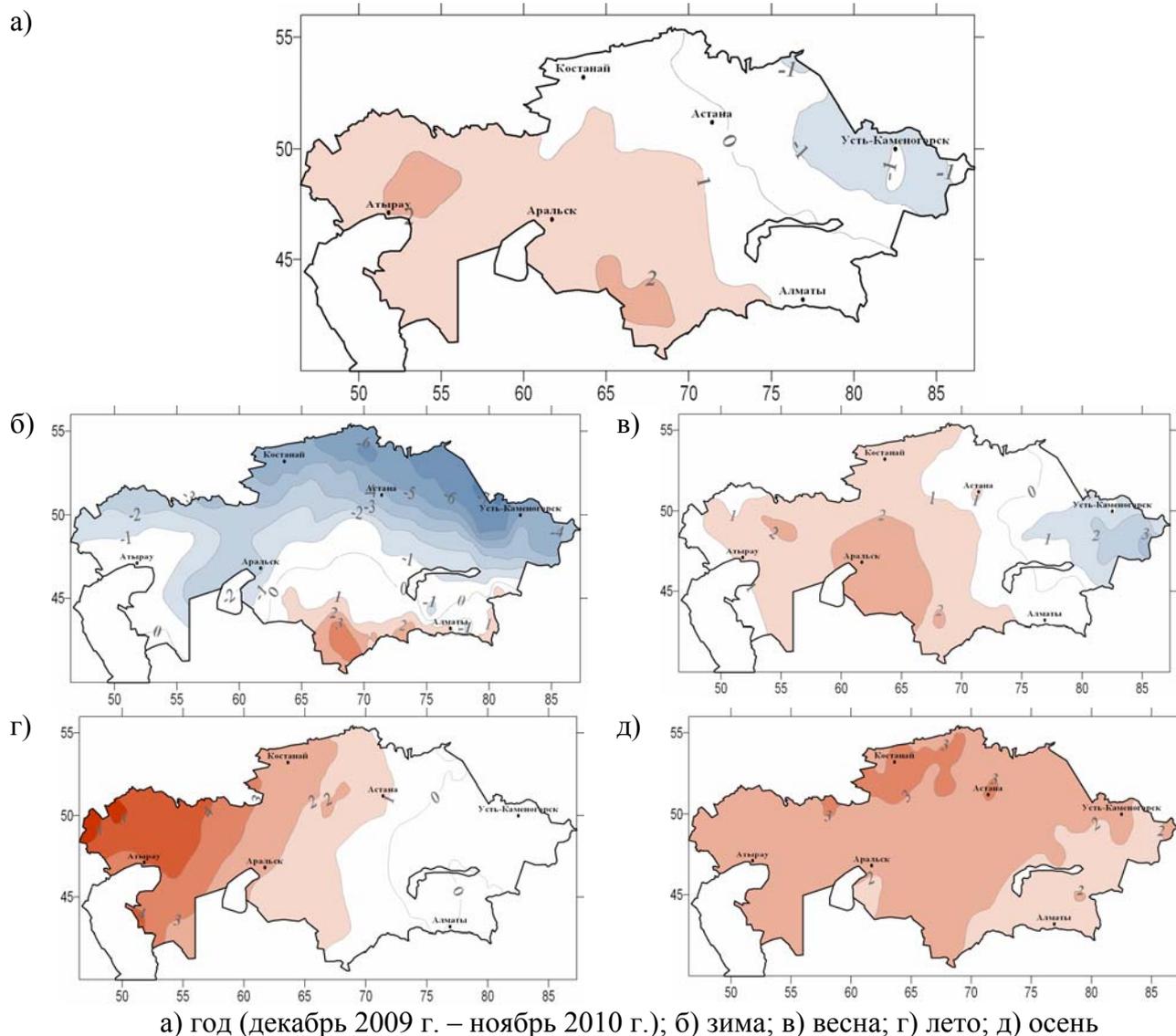
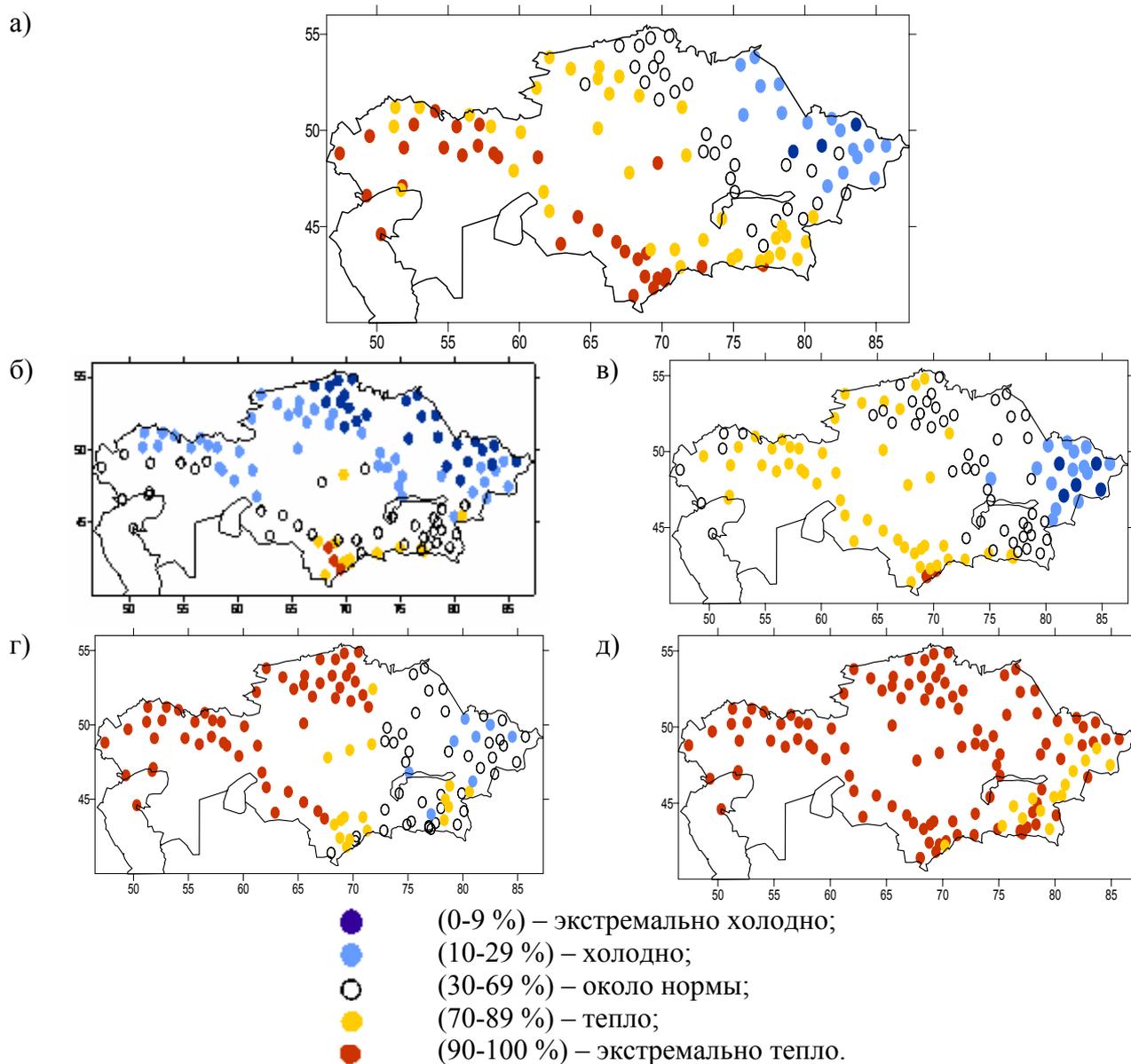


Рисунок 1.8 – Пространственное распределение аномалий температуры воздуха в 2010 г., рассчитанных относительно базового периода 1971...2000 гг., °С



Для оценки экстремальности температурного режима в 2010 г. использовались индексы изменения климата, рекомендованные Всемирной метеорологической организацией. Ниже представлен анализ некоторых наиболее показательных индексов и особенности распределения их значений по территории Казахстана в 2010 году.

Суточный максимум температуры воздуха в 2010 г. На рисунке 1.10 красным цветом показаны значения абсолютных максимумов температуры воздуха, зарегистрированные с начала открытия метеостанции и по 2009 год, синим цветом – значения суточных максимумов температуры воздуха, наблюдавшихся в 2010 году. В 2010 году абсолютный максимум температуры воздуха не был перекрыт ни на одной из рассматриваемых метеостанций.

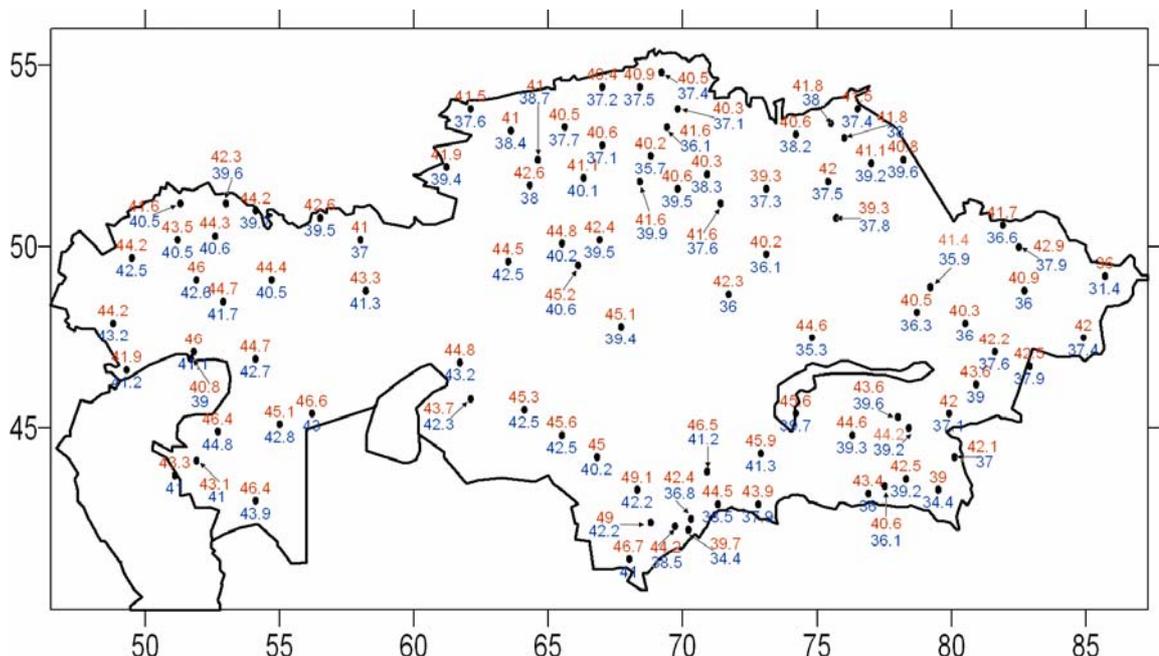


Рисунок 1.10 – Значения абсолютных максимумов температуры воздуха (°С), зарегистрированные с начала открытия метеостанции и по 2009 год (нанесены красным цветом) и значения суточных максимумов температуры воздуха (°С), наблюдавшихся в 2010 году (нанесены синим цветом).

Суточный минимум температуры воздуха в 2010 г. Абсолютные минимумы температуры воздуха ни на одной из метеостанций, вошедших в данный анализ, в 2010 году не были перекрыты (рисунок 1.11).

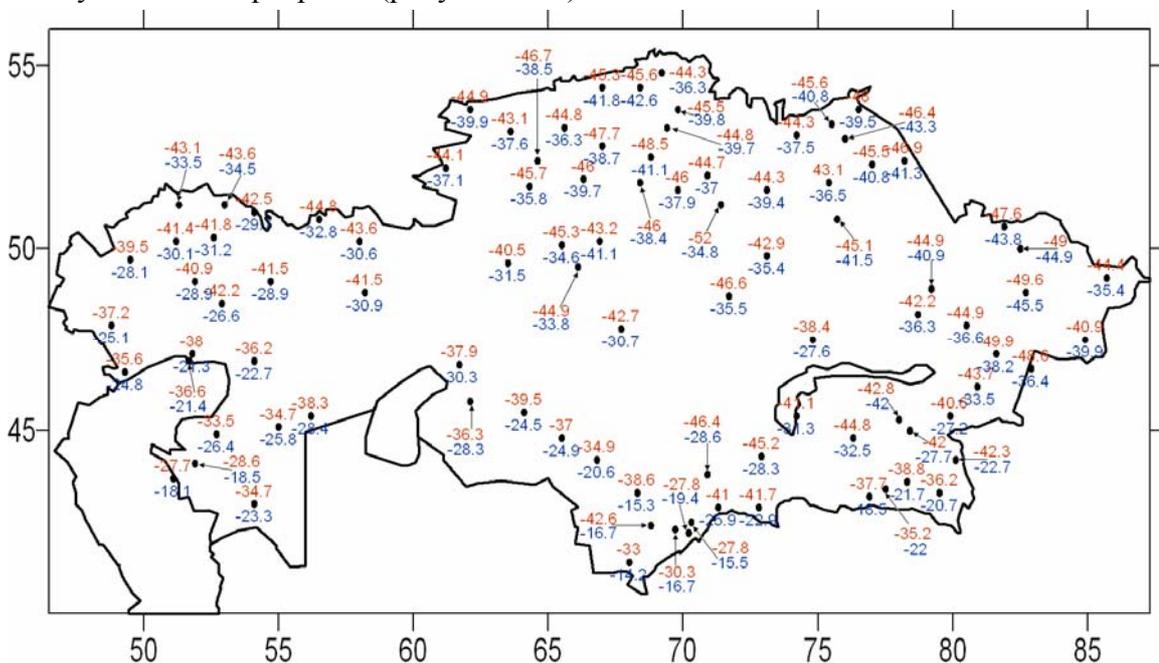


Рисунок 1.11 – Значения абсолютных минимумов температуры воздуха (°С), зарегистрированные с начала открытия метеостанции и по 2009 год (нанесены красным цветом) и значения суточных минимумов (°С), наблюдавшихся в 2010 году (нанесены синим цветом),

Количество дней с температурой воздуха выше 35 °С в 2010 г. На рисунке 1.12а представлено пространственное распределение количества дней с температурой воздуха выше 35 °С в 2010 году. Максимальное количество жарких дней наблюдалось в западном Казахстане – от 50 (Западно-Казахстанская область) до 80 дней (Мангистауская область), а также в Кызылординской области – 50-60 дней (рисунок 1.12, б). В западной половине Казахстана число дней с температурой воздуха выше 35 °С было экстремально высоким (вероятность непревышения 90-100 %).

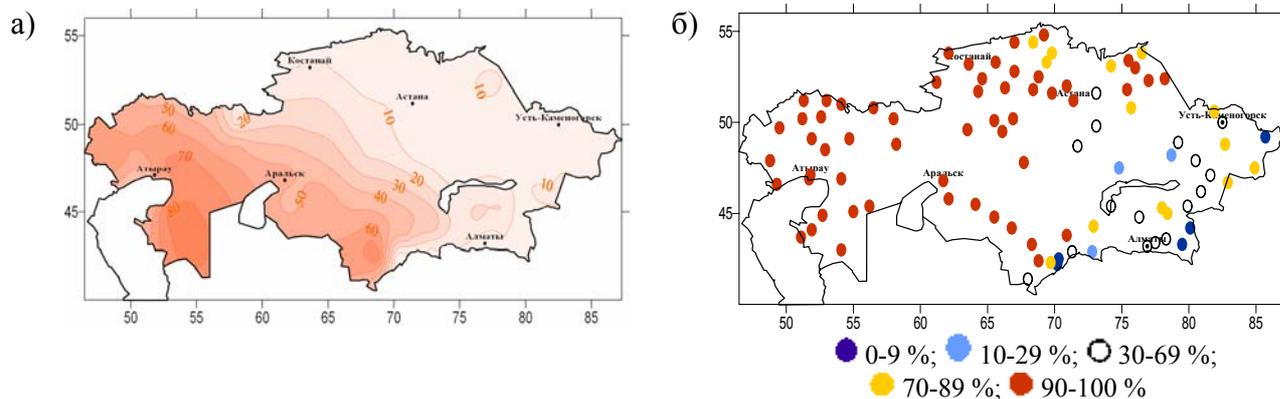


Рисунок 1.12 – Количество дней (а) и вероятность непревышения количества дней в 2010 году с температурой воздуха выше 35 °С, рассчитанные за период 1941...2010 гг. (б)

Процент дней с суточной максимальной температурой воздуха выше 90-го перцентиля в 2010 году составлял от 10 до 32 % (рисунок 1.13а). Наиболее часто максимальная температура воздуха превышала 90-ый перцентиль на западе и северо-западе республики.

Процент дней в году с суточной минимальной температурой воздуха ниже 10-го перцентиля характеризует повторяемость случаев с экстремально низкими температурами. В 2010 г. максимальное количество таких дней (более 10 %) наблюдалось в некоторых северных, северо-восточных и восточных районах (рисунок 1.13б).

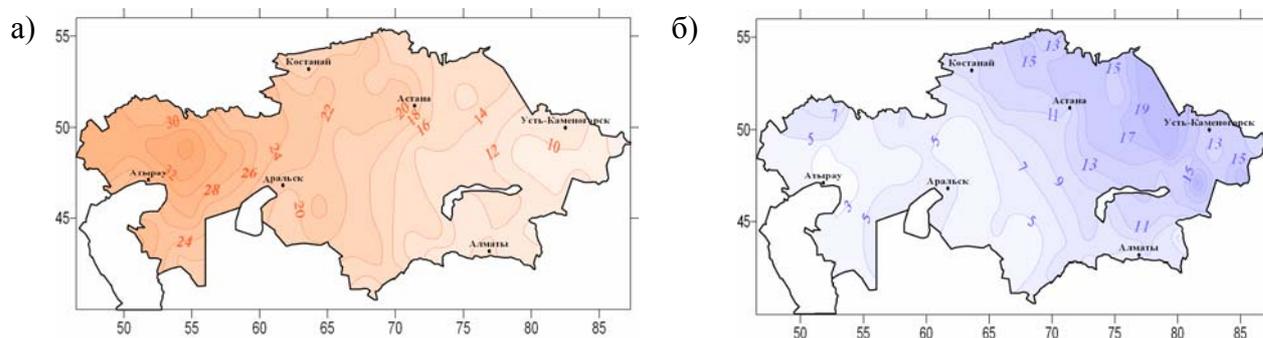


Рисунок 1.13 – Процент дней в 2010 году, когда суточная максимальная температура была выше 90-го перцентиля (а), и суточная минимальная температура была ниже 10-го перцентиля (б)

На рисунке 1.14а представлена общая продолжительность волн тепла на территории Казахстана в 2010 году (*сумма дней когда, как минимум, 6*

последовательных дней суточная максимальная температура воздуха была выше 90-го перцентиля). На западе Казахстана общая продолжительность волн тепла составила более 30 суток, местами более 50.

Сумма дней за год, когда, *как минимум, 6 последовательных дней суточная минимальная температура воздуха была ниже 10-го перцентиля*, характеризует общую продолжительность волн холода. В 2010 году волны холода наблюдались лишь в отдельных локальных районах восточного Казахстана – до 18 дней (рисунок 1.14б).

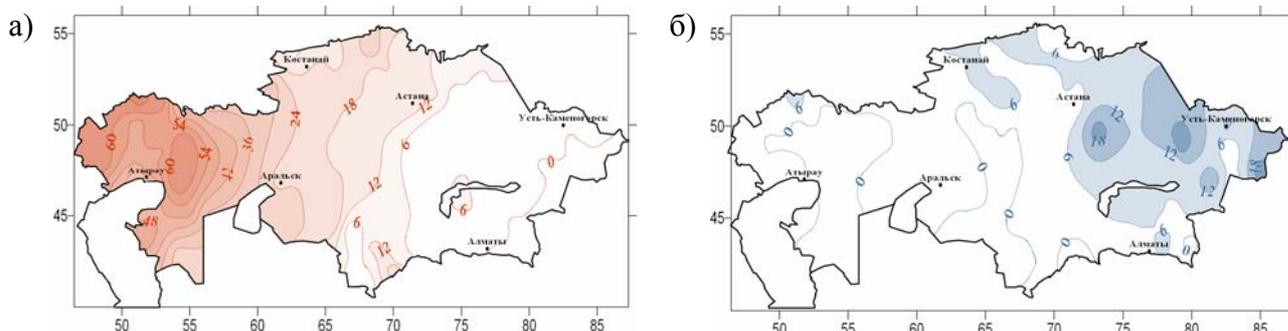


Рисунок 1.14 – Общая сумма дней в 2010 году, когда: как минимум, 6 последовательных дней суточная максимальная температура воздуха была выше 90-го перцентиля (а); как минимум, 6 последовательных дней суточная минимальная температура воздуха была ниже 10-го перцентиля (б)

На рисунке 1.15 представлено распределение продолжительности вегетационного периода (период между первой датой, когда средняя суточная температура пятидневки $\geq 5^{\circ}\text{C}$, и последней даты, когда средняя суточная температура пятидневки $\leq 5^{\circ}\text{C}$) в 2010 году. Продолжительность вегетационного периода составила 180-200 дней на севере и более 280 суток на юге республики.

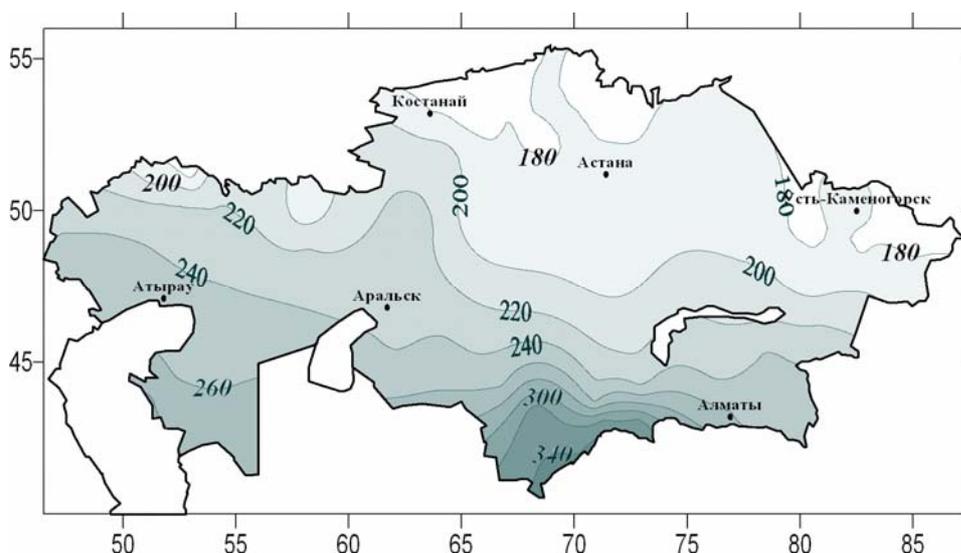


Рисунок 1.15 – Продолжительность вегетационного периода (дни) в 2010 году

1.4 Тенденции в экстремумах температуры приземного воздуха

Анализ тенденций в экстремумах температуры воздуха выполнен за период 1941...2010 гг.

Прослеживается тенденция увеличения значений **суточных максимумов температуры приземного воздуха** на большинстве метеостанций всех водохозяйственных бассейнов. Однако, статистически значимые тенденции характерны, в основном, для территории Ертисского бассейна (рисунок 1.16). Суточные максимумы температуры повышаются на 0,01...0,40 °С каждые 10 лет, местами увеличение составляет 0,41...0,60 °С/10 лет.

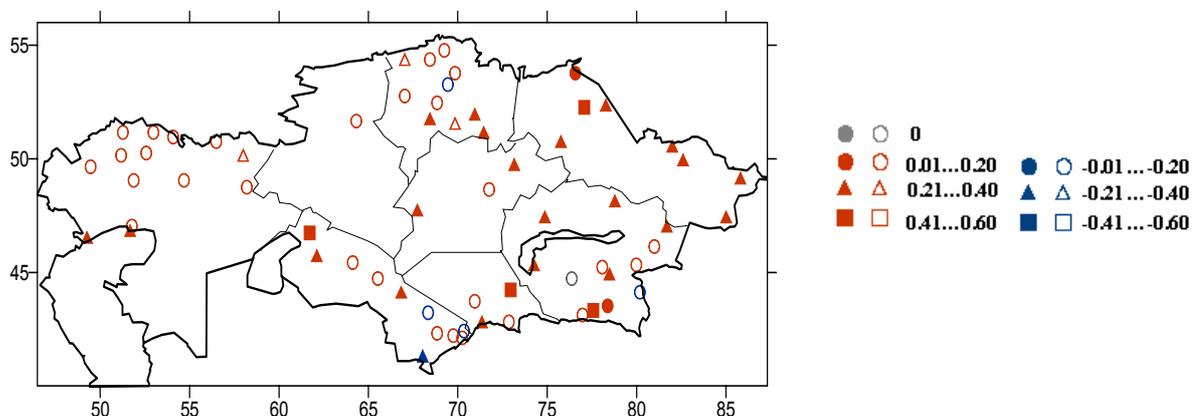


Рисунок 1.16 – Пространственное распределение коэффициента линейного тренда суточных максимальных значений температуры воздуха (°С/10 лет) за период 1941...2010 гг. Обозначения градаций затушеваны в случаях статистической значимости тренда.

Статистически значимая тенденция увеличения **количества дней с температурой воздуха выше 35 °С** наблюдается на территории Жайык-Каспийского, Арало-Сырдаринского, Шу-Таласского и Балкаш-Алакольского бассейнов – от 1 до 3 дней каждые 10 лет (рисунок 1.17). В северных регионах в период 1941...2010 гг. повторяемость жарких дней практически не изменилась.

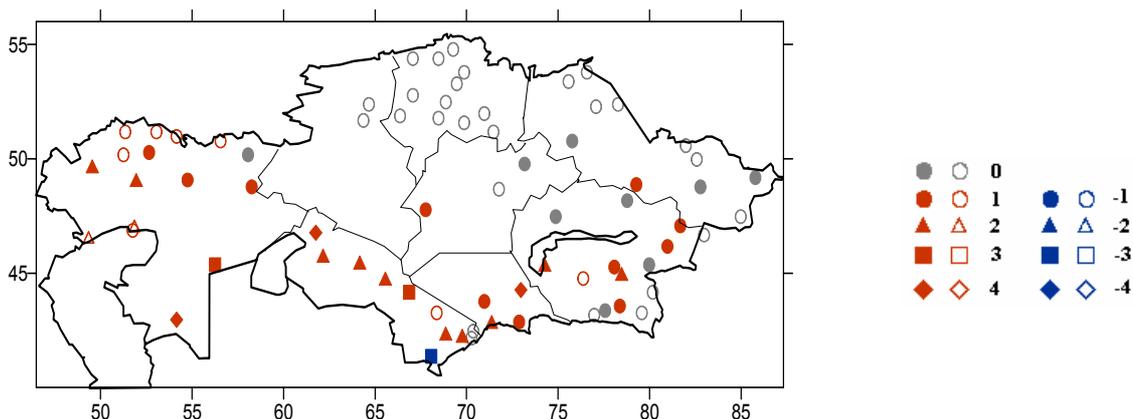


Рисунок 1.17 – Пространственное распределение коэффициента линейного тренда числа дней с температурой воздуха выше 35 °С (дни/10 лет) за период 1941...2010 гг. Обозначения градаций затушеваны в случаях статистической значимости тренда

Общая продолжительность волн тепла увеличивается на всей территории республики (на 1...4 дня/10 лет, рисунок 1.18). За волну тепла принимается случай, **когда, как минимум, в последовательных днях суточная максимальная температура воздуха**

была выше 90-го перцентиля. Статистически значимые тенденции наблюдаются на более чем 70 % метеостанций.

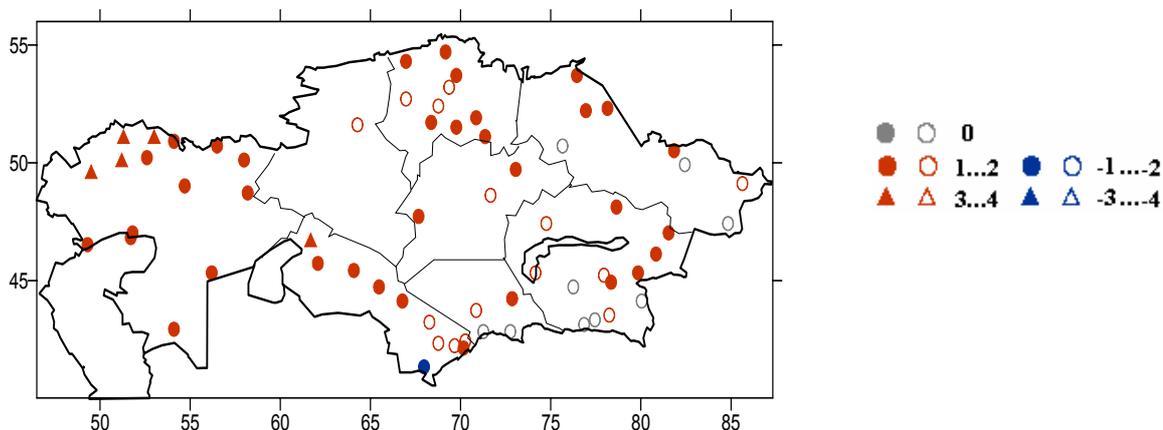


Рисунок 1.18 – Пространственное распределение коэффициента линейного тренда суммарной продолжительности волн тепла (дни/10 лет) за период 1941...2010 гг. Обозначения градаций затушеваны в случаях статистической значимости тренда.

Практически повсеместно на территории всех бассейнов наблюдается тенденция уменьшения повторяемости морозных дней, **когда суточная минимальная температура опускается ниже 0 °С** (рисунок 1.19). Наиболее значительными темпами повторяемость морозных дней сокращается в горных и предгорных районах юга Казахстана – на 5...6 дней каждые 10 лет. На остальной территории уменьшение количества таких дней составляет 1...4 дня каждые 10 лет.

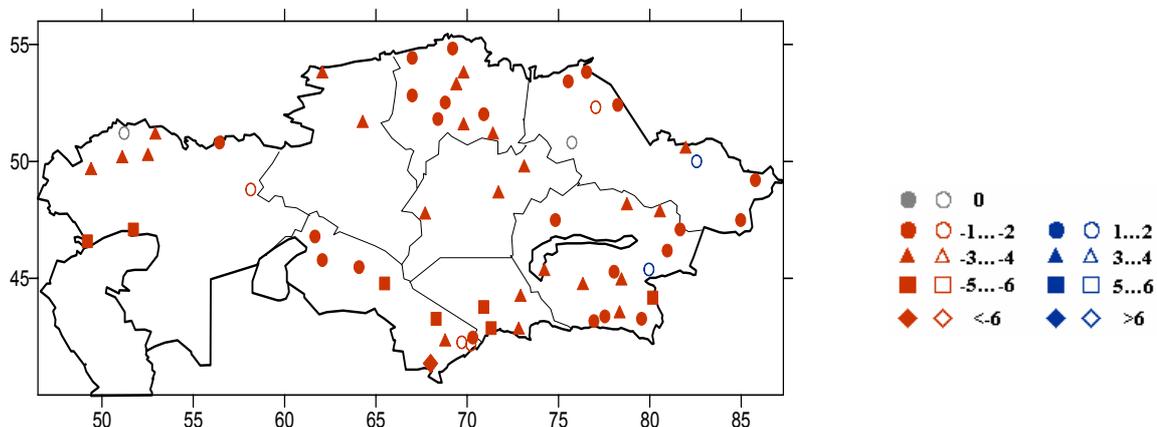


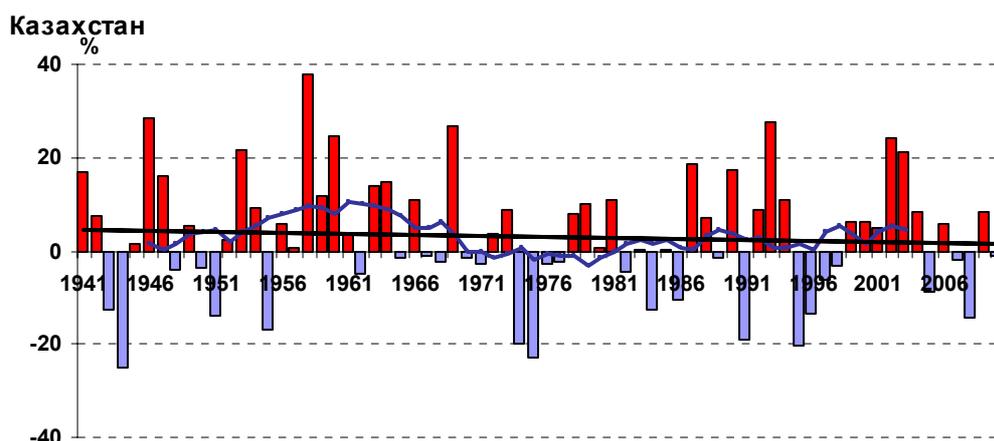
Рисунок 1.19 – Пространственное распределение коэффициента линейного тренда числа дней с суточным минимумом температуры воздуха ниже 0 °С (дни/10 лет) за период 1941...2010 гг. Обозначения градаций затушеваны в случаях статистической значимости тренда

2 АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ

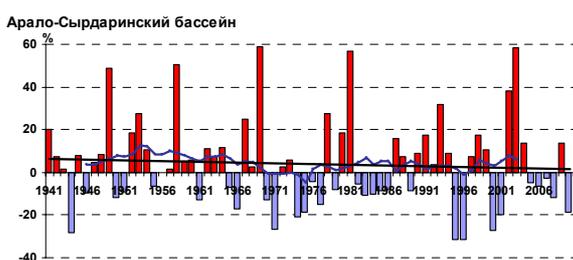
2.1 Наблюдаемые изменения количества осадков на территории Казахстана в период 1941...2010 гг.

На рисунке 2.1 представлены временные ряды аномалий годовых сумм осадков за период 1941...2010 г., рассчитанных относительно базового периода 1971...2000 гг. и пространственно осреднённых по территории Казахстана и 8-ми водохозяйственных бассейнов. В целом по Казахстану годовые суммы осадков незначительно уменьшались – на 0,4 мм/10 лет. В межбассейновом разрезе знаки тенденций различны, так в Балкаш-Алакольском, Есильском, Нура-Сарысуйском бассейнах наблюдалась слабая тенденция увеличения годового количества осадков – на 0,1...0,4 мм/10 лет, а на территории остальных бассейнов годовое количество осадков уменьшалось – на 0,4...1,7 мм/10 лет (таблица 2.1). Характеристики линейного тренда за период 1971...2010 гг., приведенные в таблице 2.1, указывают, что в этот период годовые суммы осадков незначительно увеличивались на территории всех бассейнов. Все полученные тренды статистически незначимы.

а)



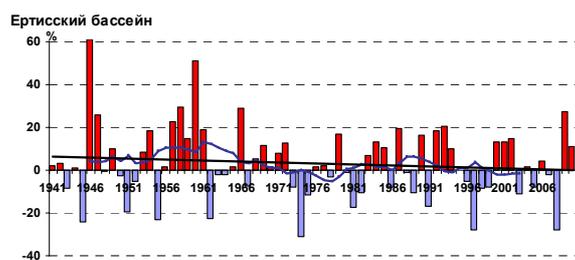
б)



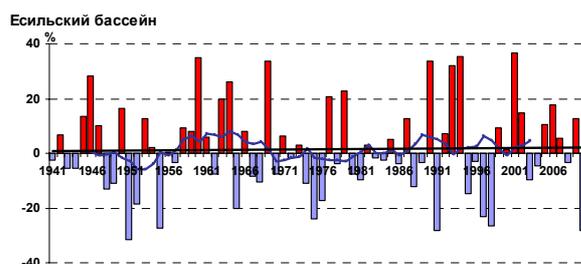
в)



г)



д)



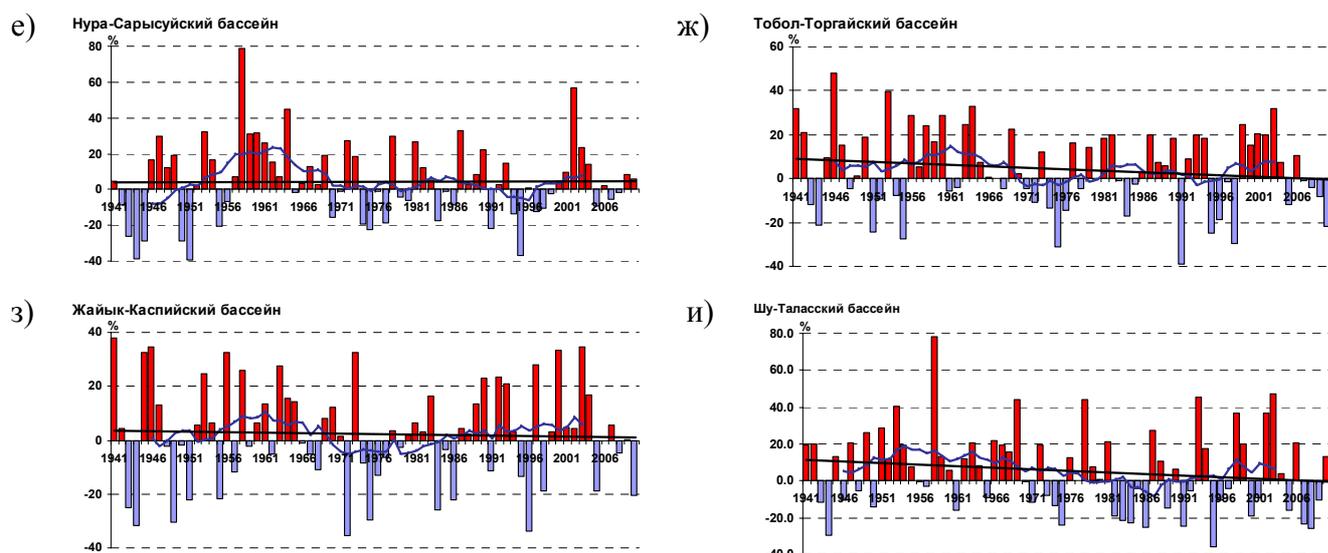


Рисунок 2.1 – Временные ряды и линейные тренды аномалий годовых сумм осадков (в %) за период 1941...2010 гг., пространственно осреднённых по территории Казахстана и 8-ми водохозяйственных бассейнов. Аномалии рассчитаны относительно базового периода 1971...2000 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением.

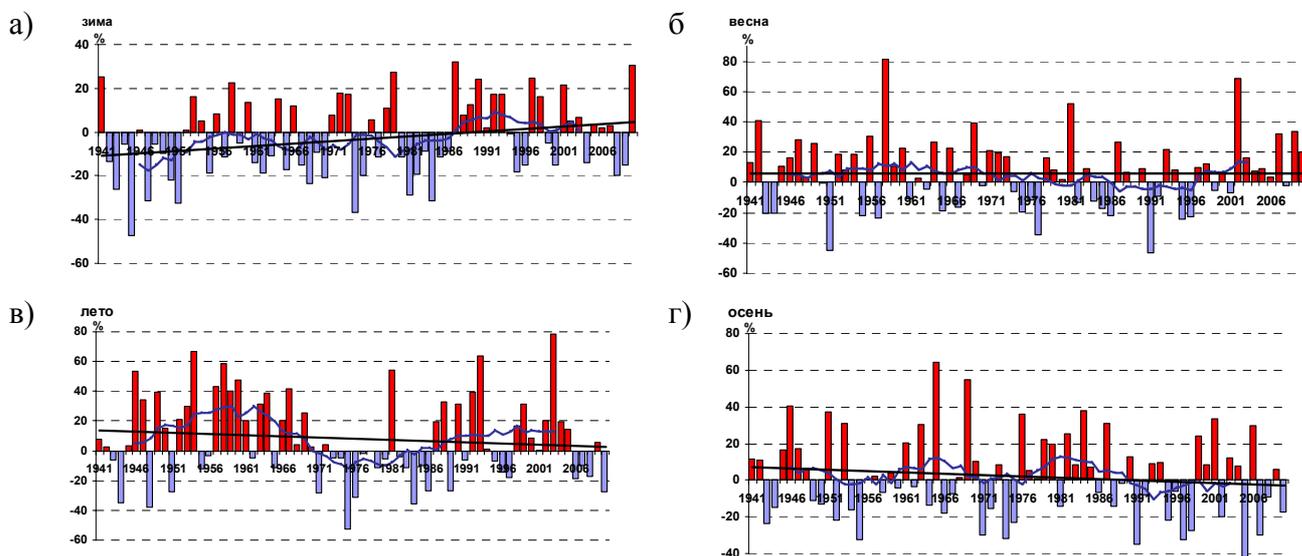
Таблица 2.1 – Характеристики линейного тренда сезонных сумм атмосферных осадков, осредненных по территории Казахстана и 8-ми водохозяйственных бассейнов за периоды 1941...2010 гг. и 1971...2010 гг.

Регион/ бассейн	Период лет	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
		*a	**R ²	a	R ²	a	R ²	a	R ²	a	R ²
Казахстан	1941-2010	-0,4	0	1,8	4	-0,2	0	-1,3	1	-1,2	1
	1971-2010	1,6	2	1,5	1	3,9	4	5,6	6	-1,7	1
Арало- Сырдаринский	1941-2010	-0,7	0	-0,2	0	-1,6	1	0,7	0	-0,3	0
	1971-2010	1,7	1	3,0	2	-0,8	0	18,1	8	-1,7	0
Балкаш- Алакольский	1941-2010	0,4	0	2,9	5	-1,2	1	0	0	0,2	0
	1971-2010	2,2	2	3,5	2	-0,8	0	6,4	5	-0,6	0
Ертисский	1941-2010	-1,0	1	1,9	2	-0,7	0	-2,7	3	-1,7	2
	1971-2010	1,0	1	0,3	0	2,0	1	2,9	2	-2,1	1
Есильский	1941-2010	0,2	0	5,9	17	1,5	1	-1,8	1	-1,5	1
	1971-2010	1,3	1	3,4	2	5,8	6	0,9	0	-2,5	1
Жайык- Каспийский.	1941-2010	-0,4	0	1,9	3	2,2	2	-3,0	3	-3,0	3
	1971-2010	2,3	2	0,5	0	12,8	18	-0,3	0	-1,5	0
Нура- Сарысу́йский	1941-2010	0,1	0	3,1	6	0,6	0	-2,4	1	-1,6	1
	1971-2010	0,8	0	-3,7	3	-1,4	0	10,7	8	-1,7	0
Тобыл- Торга́йский.	1941-2010	-1,3	2	1,4	1	1,7	1	-3,2	3	-3,6	5
	1971-2010	1,2	1	-0,9	0	12,1	17	0,3	0	-3,4	2
Шу-Тала́сский	1941-2010	-1,7	2	-1,0	0	-3,4	3	-1,4	0	-0,5	0
	1971-2010	1,01	0	2,6	1	-5,1	3	14,9	7	-1,3	0

* a – коэффициент линейного тренда, мм/10лет;

** R² – коэффициент детерминации, %

На рисунке 2.2 представлен межгодовой ход аномалий сезонных сумм осадков (%), осредненных по территории Казахстана. В среднем по Казахстану наблюдается тенденция увеличения количества зимних осадков на 1,8 мм/10 лет, во все остальные сезоны количество осадков незначительно уменьшается – примерно на 1 мм/10 лет. Все полученные оценки трендов статистически незначимы.



а) зима; б) весна; в) лето; г) осень.

Рисунок 2.2 – Временные ряды и линейные тренды аномалий сезонных сумм осадков за период 1941...2010 гг., пространственно осреднённых по территории Казахстана. Аномалии рассчитаны в % относительно базового периода 1971...2000 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением.

Более детальная информация об изменении количества осадков (мм/10 лет) по территории водохозяйственных бассейнов Казахстана за период 1941...2010 гг. представлена на рисунке 2.3.

Актюбинской и Кызылординской областях. Для этих территорий 2010 г. вошел в 10 % экстремально сухих лет. Однако, на территории горных и предгорных районов юго-востока Казахстана, а также в районе Казахского мелкосопочника годовое количество осадков было выше нормы на 20...40 %, местами на 40...60 %. На остальной территории республики количество осадков составило 80...120 % нормы.

Зима (декабрь 2009-февраль 2010).

В южных и юго-восточных областях Казахстана осадки зимнего сезона превышали норму на 20...60 %, местами 100...140 %, (рисунки 2.4б и 2.5б). Для этих районов зима вошла в 10 % экстремально влажных зим за период, начиная с 1941 года. Положительные аномалии осадков – 20...60 %, наблюдались также в Приаральском регионе и на крайнем западе Казахстана. Мало осадков, 60...80 % нормы, выпало в Актюбинской, Карагандинской, Акмолинской, Павлодарской областях. На остальной территории аномалии осадков лежали в пределах ± 20 % нормы.

Весна.

Весной практически на всей территории Казахстана количество осадков было выше или около нормы (рисунки 2.4в и 2.5в). Положительные аномалии осадков занимали большую площадь, распространяясь широкой полосой с запада на восток. Наибольшее количество осадков – до 180...220 % нормы, выпало в Атырауской, Мангистауской, Карагандинской, Восточно-Казахстанской областях. Дефицит осадков – менее 80 % нормы, наблюдался небольшими очагами в северных и южных районах республики.

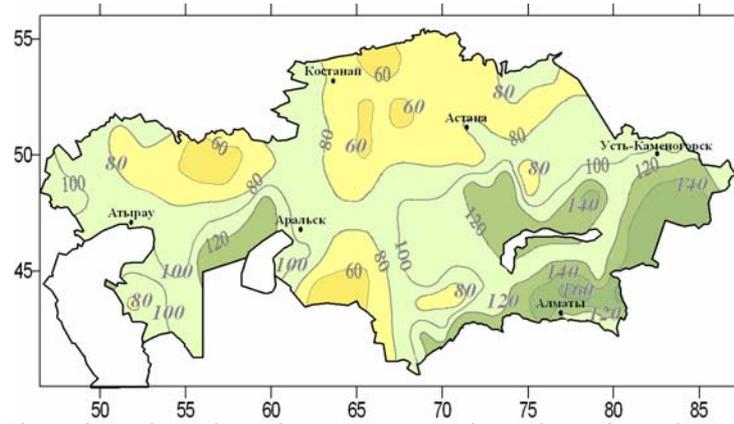
Лето.

Лето было аномально сухим и жарким во всей западной половине Казахстана (рисунки 2.4г и 2.5г). Осадков здесь выпало менее 40 %, местами менее 20 % нормы, и по данным большинства метеостанций летний сезон 2010 г. вошел в 10 % экстремально сухих сезонов. В юго-восточных областях Казахстана осадков выпало выше или около нормы. Очаги со значительными положительными аномалиями осадков – на 40...100 % выше нормы, наблюдались в Южно-Казахстанской и Восточно-Казахстанской областях, а также в районе Казахского мелкосопочника.

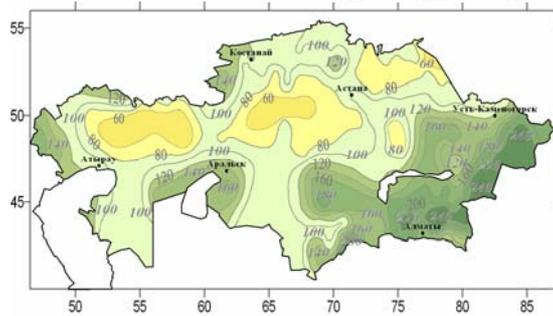
Осень.

Осенью 2010 г. на большей части территории Казахстана осадков выпало меньше нормы. Значительный дефицит осадков – менее 40 % нормы, наблюдался в Кызылординской, Жамбылской, местами в Карагандинской, Мангистауской и Восточно-Казахстанской областях (рисунки 2.4д и 2.5д). По данным отдельных метеостанций этих регионов, а также в Северо-Казахстанской области, осенний сезон 2010 г. вошел в 10 % экстремально сухих сезонов. В горных и предгорных районах Алматинской области осенью осадков выпало на 20...60 % выше нормы.

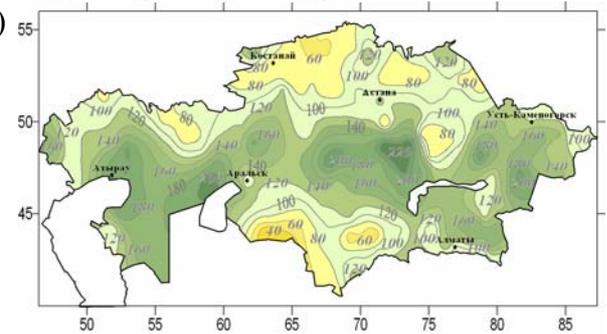
а)



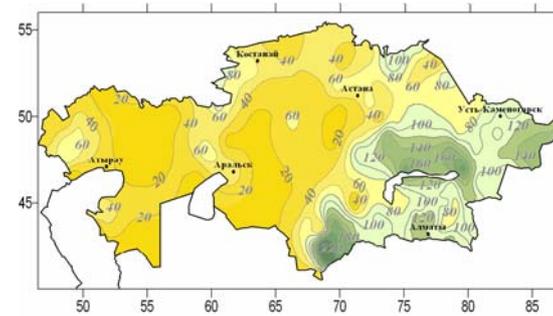
б)



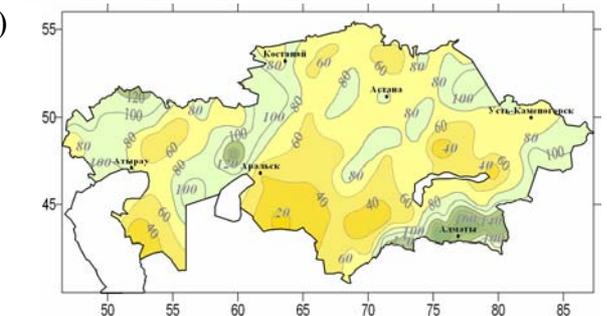
в)



г)



д)



а) год (декабрь 2009 г. – ноябрь 2010 г.) б) зима в) весна г) лето д) осень

Рисунок 2.4 – Количество осадков в 2010 г., выраженное в % нормы, рассчитанной за период 1971...2000 гг.

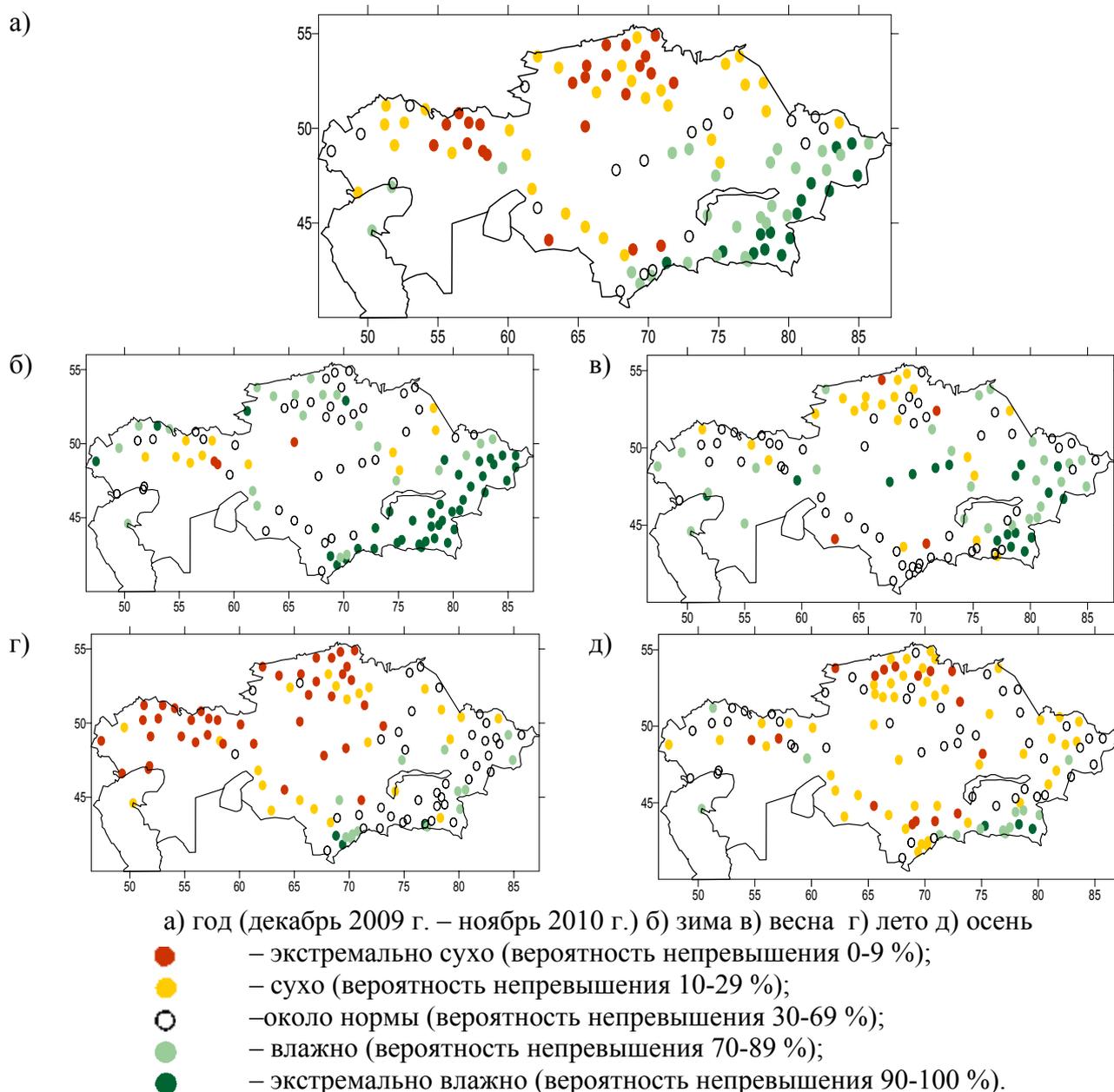


Рисунок 2.5 – Аномалии годовых и сезонных сумм осадков, наблюдавшихся в 2010 году, выраженные как вероятности непревышения, рассчитанные за период с 1941 г.

Для оценки экстремальности количества осадков в 2010 году использовались индексы изменения климата, предложенные Всемирной Метеорологической Организацией. Ниже представлен анализ некоторых наиболее показательных индексов осадков и особенности распределения их значений по территории Казахстана в 2010 году.

Максимумы суточного количества осадков в 2010 г. На рисунке 2.6 красным цветом показаны значения абсолютных максимумов суточного количества осадков, определенные за период с начала открытия метеостанции по 2009 год, синим цветом – значения суточных максимумов, наблюдавшиеся в 2010 году. В 2010 году абсолютный максимум суточного количества осадков не был перекрыт ни на одной из метеостанций, включённых в анализ.

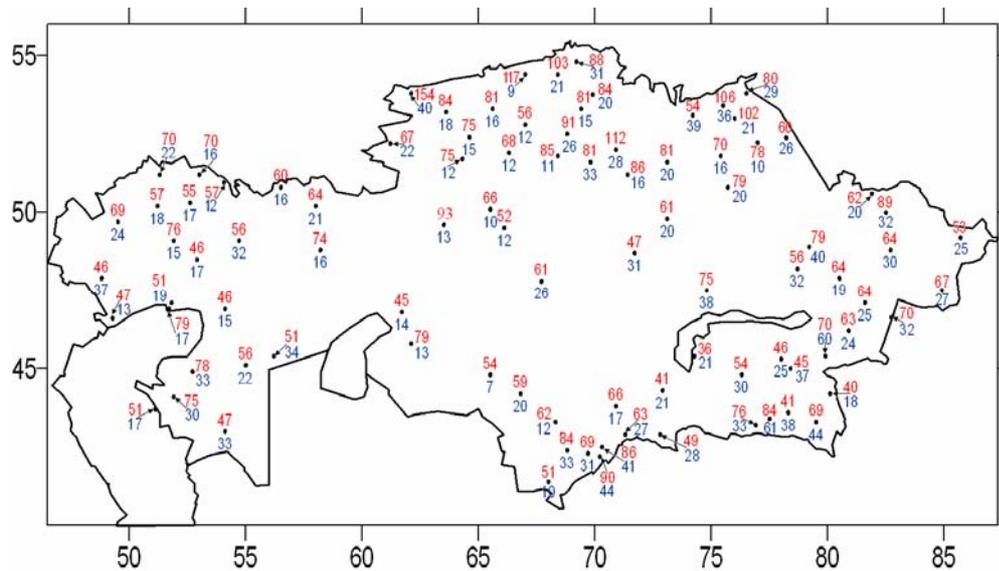


Рисунок 2.6 – Абсолютный максимум суточного количества осадков, выбранный за период с начала открытия метеостанции по 2009 год (нанесен красным цветом) и максимальное количество осадков, выпавшее за сутки в 2010 году (нанесен синим цветом), мм

На рисунке 2.7 представлена доля суммы осадков, выпавших в сутки с экстремально большим количеством осадков, в сумме осадков за весь 2010 г. Наибольшая доля экстремального количества осадков наблюдалась на метеостанциях Жезказган и Баршатас и составила 43 %, чуть меньше на метеостанции Голубовка – 42 %. По данным большинства метеостанций доля экстремальных осадков достаточно высокая – 20...30 %, что говорит о неравномерности выпадения осадков во времени.

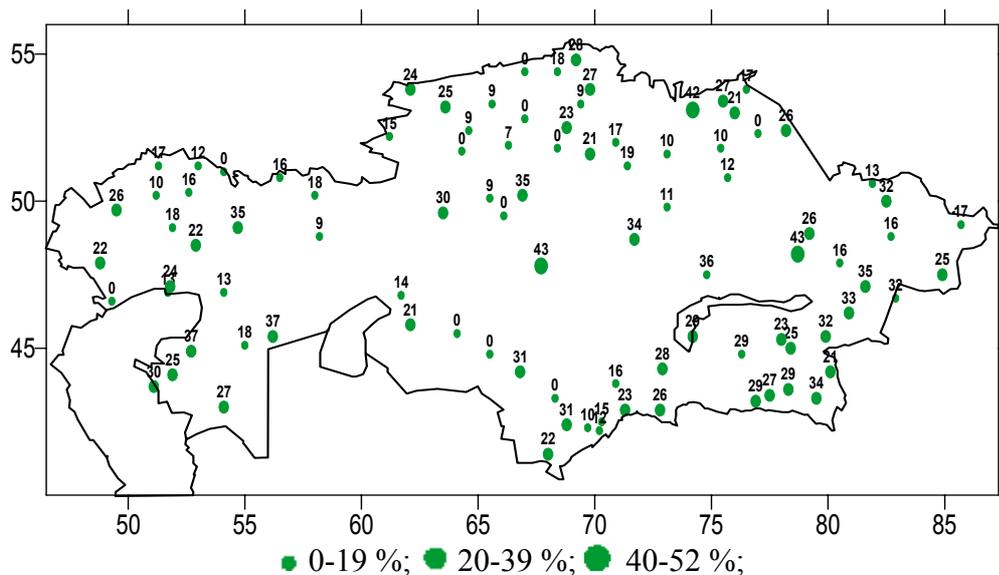


Рисунок 2.7 – Доля (%) экстремального количества осадков в годовой сумме осадков в 2010 году. Экстремальное количество осадков рассчитано как сумма суточных сумм осадков, превышающих 95-й процентиль.

В условиях засушливого климата Казахстана очень важным является индекс, который показывает *максимальную продолжительность периода, когда осадки были менее 1 мм* (продолжительность бездождного периода, рисунок 2.8). В 2010 году практически на всех метеостанциях продолжительность периода без осадков была, как минимум, больше 1 месяца. Особо длительные периоды без осадков наблюдались во всём западном Казахстане – от 50 до 130 дней, а также в Кызылординской и Южно-Казахстанской областях – 80...100 дней.

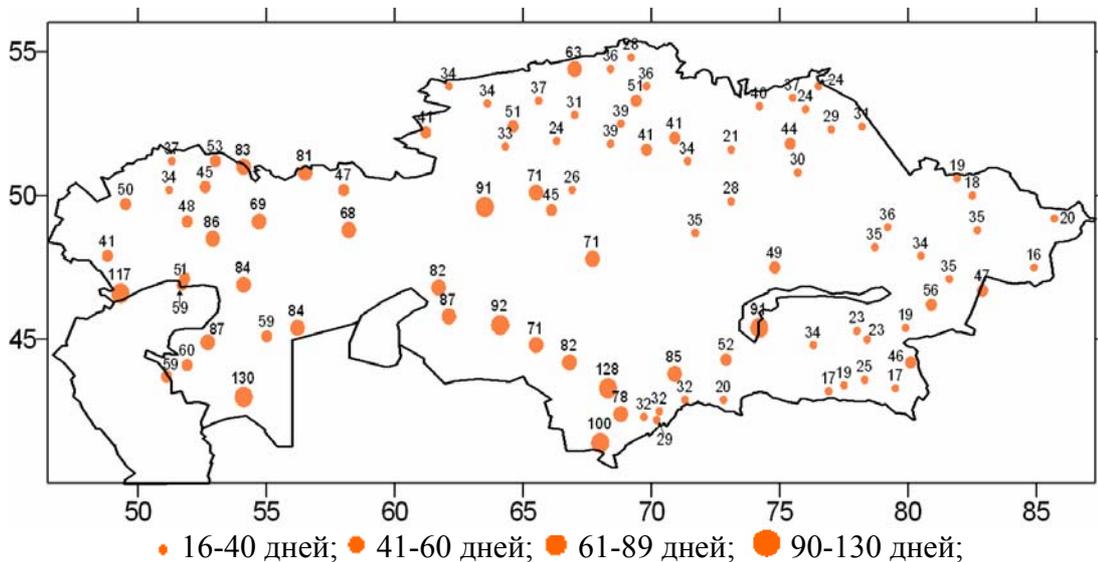


Рисунок 2.8 – Максимальная продолжительность бездождного периода (в днях) в 2010 году

В 2010 году *максимальная продолжительность периода, когда осадки были равны или больше 1 мм* (продолжительность дождливого периода), представлена на карте на рисунке 2.9. Максимальная продолжительность периода с осадками составляла от 2 до 9 дней. Наибольший по продолжительности период с осадками (5...9 дней) наблюдался в предгорных и горных районах юго-востока Казахстана.

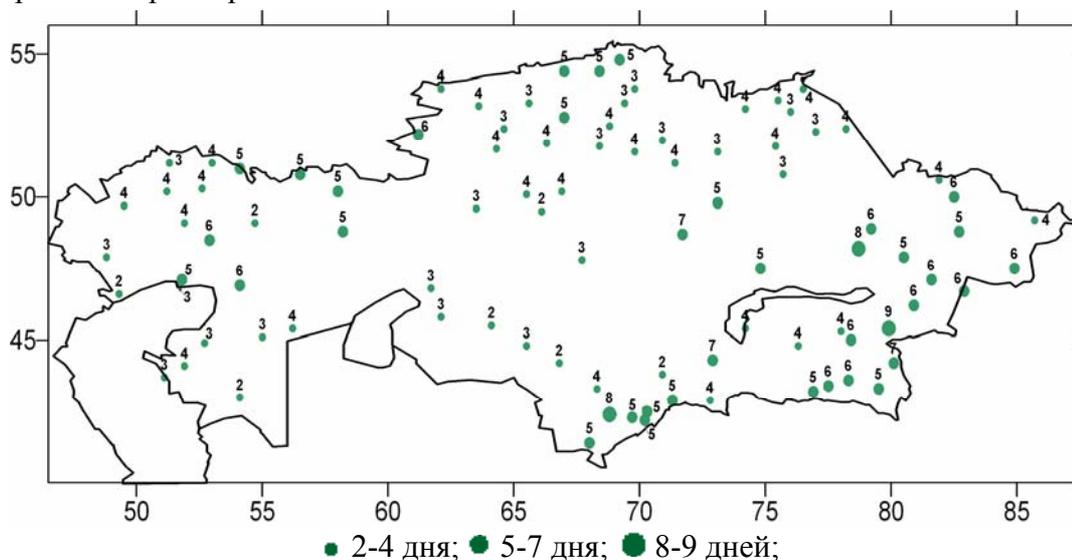


Рисунок 2.9 – Максимальная продолжительность периода (в днях) в 2010 году, когда осадки были равны или больше 1 мм

2.3 Тенденции в экстремумах количества атмосферных осадков

Анализ тенденций в экстремумах количества атмосферных осадков выполнен за период 1941-2010 гг. на основе некоторых наиболее показательных индексов, предложенных ВМО.

Значения максимального суточного количества осадков на территории Казахстана практически не изменились. На территории всех водохозяйственных бассейнов наблюдаются слабые – на 0,01...1,0 мм/10 лет, тенденции как уменьшения, так и увеличения максимального суточного количества осадков. При этом практически все тренды статистически незначимы (рисунок 2.10).

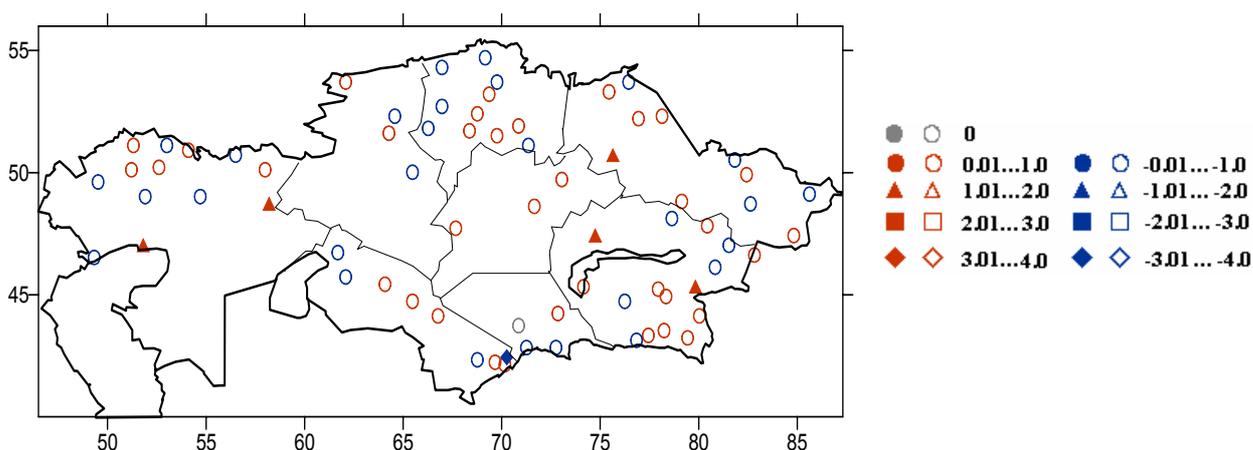


Рисунок 2.10 – Пространственное распределение коэффициента линейного тренда максимальных в году значений суточного количества осадков (мм/10 лет), рассчитанного за период 1941...2010 гг. Обозначения градаций затушеваны в случаях статистической значимости тренда.

Анализ тренда в значениях **доли (%/10 лет) экстремального количества осадков в годовой сумме осадков** (рисунок 2.11) показывает, что на территории Казахстана наблюдаются слабые тенденции, как ее уменьшения, так и увеличения – на 1...2 %/10 лет. При этом в северных регионах Казахстана чаще наблюдается тенденция уменьшения доли, в южных – увеличения. Увеличение экстремального количества осадков в летний период приводит к повышению риска возникновения эрозионных процессов, а в горных районах – селей дождевого генезиса.

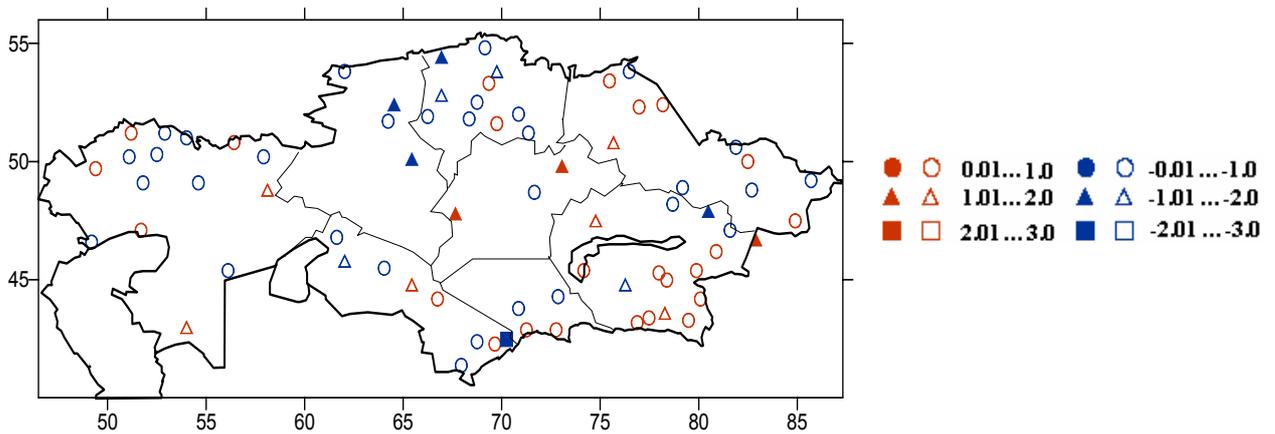


Рисунок 2.11 – Пространственное распределение коэффициента линейного тренда доли (%/10 лет) экстремального количества осадков в годовых суммах осадков, рассчитанного за период 1941...2010 гг. Экстремальное количество осадков рассчитано как сумма суточного количества осадков, превышающего 95-й перцентиль. Обозначения градаций затушеваны в случаях статистической значимости тренда.

На большей части территории Казахстана наметилась тенденция сокращения *максимальной продолжительности периода без осадков*. Статистически значимые тенденции уменьшения наблюдаются на севере республики – на 0,2...0,6 дней каждые 10 лет. На всей остальной территории тенденции статистически незначимы.

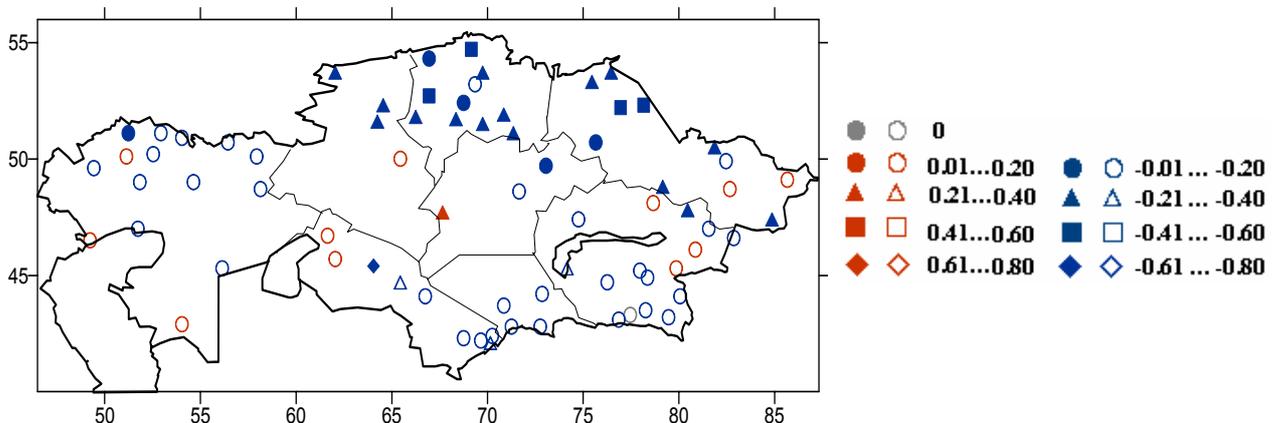


Рисунок 2.12 – Пространственное распределение коэффициента линейного тренда максимальной продолжительности бездождного периода (дни/10 лет), рассчитанного за период 1941...2010 гг. Обозначения градаций затушеваны в случаях статистической значимости тренда

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В глобальном масштабе по значению температуры воздуха 2010 год занял первое место среди всех остальных лет, начиная с 1850 года. В ряду ранжированных по убыванию значений средней по территории Казахстана аномалии температуры воздуха 2010 год занял 14 место (за период с 1941 года).

В 2010 году в Казахстане практически во всей западной половине Казахстана наблюдались положительные аномалии средней годовой температуры воздуха (декабрь 2009 г.– ноябрь 2010 г.) в пределах 1...2 °С. Температуры ниже нормы на 1...1,5 °С были на территории Восточно-Казахстанской области. Годовое количество на большей части территории Казахстана было ниже или около нормы. В горных и предгорных районах юго-востока Казахстана, а также в районе Казахского мелкосопочника осадки превышали норму на 20...40 %, местами на 40...60 %.

Характеризуя ситуацию 2010 года в разрезе сезонов, можно отметить экстремально холодную зиму (декабрь 2009 г. – февраль 2010 г.) в Восточно-Казахстанской, Павлодарской, Северо-Казахстанской, Акмолинской и Кустанайской областях, когда температуры были на 4...6 °С ниже нормы, и зима вошла в 10 % экстремально холодных зимних сезонов. Осадков в зимний период выпало, в основном, около или больше нормы, и экстремально влажной зима была в южных и юго-восточных областях Казахстана (в среднем осадки превышали норму на 20...60 %, местами на 100...140 %).

Весна была тёплой почти во всей западной половине Казахстана, где положительные аномалии составили 1...2 °С. Лишь в Восточно-Казахстанской области в весенний период температуры были ниже нормы на 1...3 °С. На остальной территории аномалии температуры были в пределах ± 1 °С. Так же как и зимой, практически на всей территории Казахстана количество осадков было выше или около нормы. Дефицит осадков – менее 80 % нормы, наблюдался небольшими очагами в северных и южных районах республики.

Лето было катастрофически жарким на территории западной половины республики, аномалии температуры превышали норму на 3...5 °С. Аномально высокие температуры воздуха сопровождались отсутствием или малым количеством осадков – всего 20...40 % нормы. В некоторых районах были зафиксированы длительные периоды без осадков – до 50...130 дней. В результате лето 2010 года в западных регионах Казахстана вошло в 10 % экстремально тёплых и сухих летних сезонов. На остальной территории температура воздуха и количество осадков были чаще около нормы.

Осень была экстремально тёплой почти на всей территории Казахстана. Аномалии температуры достигали 2...3 °С, и по данным большинства метеостанций осень вошла в 10 % самых тёплых сезонов, начиная с 1941 года. Осадков в большинстве регионов Казахстана выпало меньше нормы. Значительный дефицит осадков (менее 40 % нормы) наблюдался в Кызылординской, Жамбылской, местами в Карагандинской, Мангистауской, Восточно-Казахстанской и Северо-Казахстанской областях. По данным отдельных метеостанций этих регионов осенний сезон 2010 г. вошел в 10 % экстремально

сухих сезонов. В горных и предгорных районах Алматинской области осенью осадков выпало на 20...60 % выше нормы.

В 2010 году наблюдались экстремальные явления в режиме температуры. В основном они были характерны для западной половины республики, где число дней с температурой воздуха выше 35 °С составило порядка 50...80 дней, общая продолжительность волн тепла – 30...50 дней, в 10...32 % дней суточный максимум температуры превышал значения 90 перцентиля.

Факт изменения температурного режима в Казахстане не вызывает сомнений. Наблюдается рост среднегодовых температур, составляющий в среднем по Казахстану 0,30 °С/10 лет за период 1941...2010 гг. и 0,39 °С/10 лет за период 1971...2010 гг. Растут температуры и во все сезоны года, наибольшими темпами в зимний сезон – на 0,38 °С/10 лет (1941...2010 гг.) и на 0,51 °С/10 лет за последние 40 лет (1971...2010 гг.). Все тренды статистически значимы.

Возрастает повторяемость экстремально высоких температур воздуха. Почти во всей южной половине Казахстана увеличивается количество дней с температурой воздуха выше 35 °С – на 1...3 дня каждые 10 лет (1941...2010 гг.). Общая продолжительность тёплых периодов становится больше – на 1...4 дня/10 лет. Сокращается повторяемость дней, когда температура опускается ниже 0 °С, наиболее существенное уменьшение повторяемости характерно для горных и предгорных районов юга Казахстана – на 5...6 дней каждые 10 лет.

Значительных изменений в режиме осадков по территории Казахстана не происходит. Изменения в годовых суммах осадков составляют $\pm 1...2$ мм/10 лет. Тренды, в основном, статистически незначимы.