

УДК 551.513:551.583

В.Г. Сальников, Г.К. Турулина, С.Е. Полякова

АТМОСФЕРНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ В КАЗАХСТАНЕ

Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, г. Алматы

В статье рассматриваются поля аномалий температуры воздуха и осадков в Казахстане, характерные для основных форм атмосферной циркуляции W, C и E.

Атмосферная циркуляция формирует пространственную структуру полей температуры и осадков вследствие перераспределения тепла и влаги атмосферными течениями. Долгопериодные изменения в системе атмосфера-океан-суша вызывают изменения в структуре крупномасштабной циркуляции, которые, в свою очередь, проявляются в региональных особенностях изменения климата и естественной климатической изменчивости. Этим определяется важность анализа атмосферной циркуляции и ее изменений для понимания региональных изменений климата.

В отличие от изменений температуры и осадков, которые изучаются непосредственно по данным наблюдений, изменение атмосферной циркуляции исследуется с помощью различных индексов, характеризующих количественно или качественно те или иные циркуляционные структуры.

В данной работе в качестве таких индексов использовались формы атмосферной циркуляции Г.Я. Вангенгейма. Каталоги этих форм циркуляции непрерывно ведутся в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте многие десятилетия. Данные о формах циркуляции за каждый день имеются с 1891 г. по настоящее время /1/.

Все многообразие процессов атмосферной циркуляции, наблюдавшихся над атлантико-евразийским сектором северного полушария (район от Гренландии до Байкала к северу от 30° с.ш.), Г.Я. Вангенгейм обобщил в три формы: западную W, восточную E и меридиональную C. Классификация Г.Я. Вангенгейма основана на учете характера длинных термобарических волн, наблюдаемых в тропосфере и нижней стратосфере. Особенности этих волн во многом определяют основные черты распределения приземных полей температуры и осадков, свойственных формам циркуляции /2/.

Процессы зональной (западно-восточной) циркуляции соответствуют нормальному распределению тепловой энергии солнца по земной поверхности. Максимальное их развитие связано с наличием очага холода в приполярном районе и зоны тепла в низких широтах, при этом градиенты температуры и давления в значительной толще тропосферы увеличены и направлены с юга на север. При зональной циркуляции значительная доля величины температурного контраста (около 60%) между полюсами и экватором сосредоточена в сравнительно узкой зоне шириной 500–1000 км. Эта зона обычно опоясывает кругом все полушарие и является основной планетарной высотной фронтальной зоной (ПВФЗ), характерной особенностью которой является струя максимальных западных ветров (струйное течение). В тропосфере наблюдаются волны малой амплитуды, быстро смещающиеся с запада на восток /3/.

При меридиональной (C) форме циркуляции в тропосфере наблюдаются стационарные волны большой амплитуды в пределах атлантико-евразийского сектора полушария. ПВФЗ характеризуется двумя высотными гребнями, расположенными над Западной Европой и Западной Сибирью и Казахстаном, между этими гребнями располагается глубокая ложбина. В отдельных случаях тот или иной высотный гребень может быть развит слабо или усиливаться лишь эпизодически. Возможны также случаи,

когда, например, западный гребень сильно развит в северо-восточном направлении, а на участке ПВФЗ над Казахстаном наблюдаются волны, смещающиеся сравнительно быстро в восточном направлении. В этом случае погода над Казахстаном существенно отличается от той, которая характерна для гребневого положения ПВФЗ над этой территорией /3/.

При другой меридиональной (Е) форме циркуляции, часто называемой восточной формой, основной особенностью длинных термобарических волн также является их стационарность. Высотный гребень располагается над европейской территорией России (ЕТР) и Украиной. К востоку и западу от этого гребня обычно имеются глубокие холодные ложбины, которым соответствуют на приземных картах циклоны, обуславливающие в своем тылу вторжение холодных воздушных масс.

Формы атмосферной циркуляции Г.Я. Вангенгейма находятся в хорошем согласии с географическим положением областей аномалий температуры воздуха, давления и осадков атлантико-евразийского сектора Северного полушария. При зональных процессах (W) отрицательные аномалии температуры и давления наблюдаются в высоких, а положительные – в умеренных и субтропических широтах рассматриваемого сектора Северного полушария. При меридиональных формах Е и С положительные аномалии температуры и давления в среднем отмечаются в гребнях, а отрицательные – в ложбинах. При этом области положительных аномалий температуры и осадков формируются под западными частями высотных гребней.

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 /3, 4/.

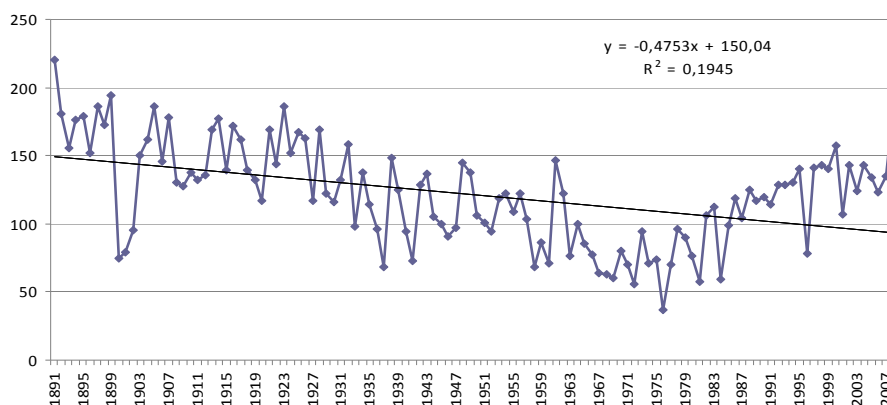
В данной работе проведен анализ числа дней с формами циркуляции Г.Я. Вангенгейма за период с 1891 по 2008 гг., который показал, что годовое число дней с формой W уменьшалось от 220 (начало 1890-х годов) до 180 сут/год (2008 г.). Число дней с формой С уменьшалось с меньшим трендом от 89 до 64 сут/год, а годовое число дней с формой Е, напротив, увеличивалось от 56 до 122 сут/год. Приведенный рисунок (рис. 1) свидетельствует о постепенных изменениях атмосферной циркуляции в атлантико-евразийском секторе Северного полушария за последние более чем 100 лет.

Наряду с этим было рассчитано число дней с формами циркуляции W, С и Е в каждом из календарных сезонов (зима, весна, лето, осень) за тот же период. Наибольшие тренды наблюдаются летом, сезонное число дней с формой Е увеличивается со скоростью 35 сут/сезон за столетие, а число дней с формами W и С убывает со скоростью, соответственно, 22 и 12 сут/сезон за столетие. Весной и осенью тренды меньше, сезонное число дней с формой Е увеличивается на 17 и 13 суток/сезон за столетие, с формой W уменьшается на 9 и 13 сут/сезон за столетие, а в формой С убывает весной на 7 суток/сезон за столетие, осенью же тренд отсутствует. Зимой тренды всех форм циркуляции статистически не значимы.

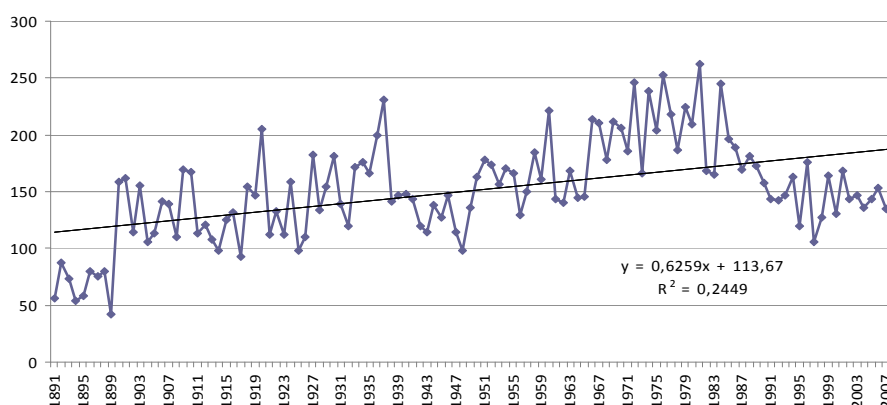
В середине XX века Г.Я. Вангенгейм и А.А. Гирс /2/, а позже М.Х. Байдал /4, 5/, установили, что в изменении годовых характеристик трёх основных форм атмосферной циркуляции (W, С, Е) можно выделить длительные периоды, в течение которых аномальное развитие получают одна или две формы циркуляции. Особенно четко эти периоды, названные ими эпохами циркуляции, обнаруживаются на интегрально-разностных кривых.

М.Х. Байдалом был проведен сравнительный анализ повторяемости форм циркуляции с ходом солнечной активности. В результате оказалось, что границы эпох атмосферной циркуляции с точностью 1–2 года совпадают с максимумами 11-летних циклов солнечной активности. Этим самым была доказана возможность совершенно объективного способа определения границ эпох циркуляции и тесная связь этих эпох с солнечной активностью. Действительно, если последняя каким-либо образом влияет на атмосферную циркуляцию, то наибольшее влияние будет в периоды максимума.

а)



б)



в)

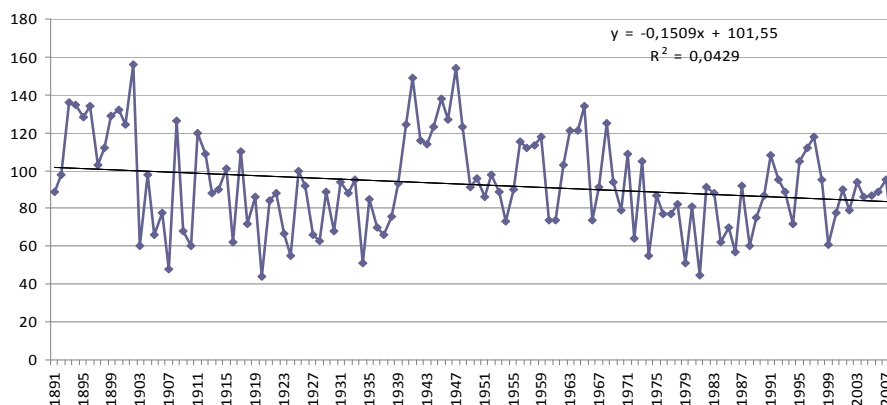


Рисунок 1. Изменение во времени числа дней за год с формами атмосферной циркуляции W (а), E (б) и C (в) в атлантико-евразийском секторе северного полушария

Показано, что в эти периоды устойчивость сохранения однотипного процесса наименьшая, т.е. наблюдается частая смена форм циркуляции. Это соответствует выводам других авторов о повышении интенсивности атмосферной циркуляции в периоды максимума солнечной активности. Следствием указанных исследований явилась возможность определения границ атмосферной циркуляции всего XIX столетия. М.Х. Байдалом для определения границ эпох привлекались также данные о динамике ледников Альп, Кавказа, Средней Азии и Тянь-Шаня, о ходе давления, количестве

атмосферных осадков и т.п. Таким образом, М.Х. Байдалом был составлен календарь циркуляционных эпох, начиная с 1803 г. и до конца 60-х годов /5, 6/, приведенный в таблице 1.

Таблица 1

**Календарь эпох циркуляции атмосферы
согласно М.Х. Байдала /5/, А.А. Дмитриева и В.А. Белязо /1/**

Номер эпохи	Период и продолжительность эпохи	Преобладающая форма циркуляции	Номер эпохи	Период и продолжительность эпохи	Преобладающая форма циркуляции
1	1803-1815 гг. (13 лет)	С	15	1959-1968 гг. (10 лет)	Е+С
2	1816-1828 гг. (13 лет)	С+W	16	1969-1978 гг. (10 лет)	Е
3	1829-1836 гг. (8 лет)	W	17	1979-1988 гг. (10 лет)	Е
4	1837-1847 гг. (11 лет)	Е	18	1989-2000 гг. (12 лет)	W
5	1848-1859 гг. (12 лет)	С	19	2001-2011 гг. (11 лет)	W
6	1860-1871 гг. (12 лет)	С+ W	20	2012–2021 гг. (10 лет)	Е
7	1872-1880 гг. (9 лет)	W	21	2022–2031 гг. (10 лет)	С
8	1881-1892 гг. (12 лет)	Е	22	2032–2042 гг. (11 лет)	Е+С
9	1893-1905 гг. (13 лет)	С	23	2043–2051 гг. (9 лет)	Е+С
10	1906-1918 гг. (13 лет)	W+С	24	2052–2060 гг. (9 лет)	Е+W
11	1919-1928 гг. (10 лет)	W	25	2061–2071 гг. (11 лет)	W+С
12	1929-1939 гг. (11 лет)	Е	26	2072–2081 гг. (10 лет)	W
13	1940-1948 гг. (9 лет)	С	27	2082–2091 гг. (10 лет)	W
14	1949-1958 гг. (10 лет)	Е+С			

В настоящее время в Арктическом и антарктическом институте проводятся обстоятельные исследования по динамике крупномасштабной атмосферной циркуляции и оценки ее структурных звеньев на основе использования материалов о космических ритмах, изменении скорости вращения Земли, о гравитационном поле Земли, об изменении орбитальных характеристик внешних планет /1/. А.А. Дмитриевым и В.А. Белязо также определены границы эпох с 1885 по 2010 гг. В таблице 1 приведены границы эпох, установленные этими авторами, начиная с 1969 г. Период с 1972 по 1995 г. (24 года) отнесен к эпохе формы циркуляции Е, но внутри нее уже наблюдалось нарастание и процессов западной (W) формы циркуляции. Период с 1996 по 2004 г. по целому ряду признаков авторы рассматривают как циркуляционную эпоху западной (W) формы циркуляции.

В данной статье для выделения многолетних колебаний атмосферной циркуляции был использован известный метод построения интегральных кривых аномалий числа дней с формами циркуляции за 1891–2008 гг. Для этого сначала вычислялись аномалии числа

дней рассматриваемой формы, затем – накопленные суммы этих аномалий. По накопленным суммам строились графики, которые являются интегральной кривой аномалий числа дней рассматриваемой формы циркуляции. Восходящая ветвь интегральной кривой соответствует периодам преобладания положительных аномалий, а нисходящая – периодам доминирования отрицательных аномалий, эти периоды и называются эпохами атмосферной циркуляции. На рисунке 2 показано изменение накопленной суммы аномалий годового числа дней появления форм атмосферной циркуляции W, E и C.

Авторы /1/ дали прогноз эпох однородной циркуляции атмосферы Земли до 2091 г. на основе учета совпадения продолжительности солнечных циклов и колебаний целого ряда земных процессов (табл. 1). Разработки последних лет убедительно показывают, что в периодах различного сочетания планет, солнечной активности и колебаниях атмосферной циркуляции присутствует один и тот же набор ритмов, что свидетельствует о взаимосвязанности всех этих явлений. Сложная система вращения планет вокруг Солнца является достаточно отлаженным механизмом, задающим ритмику явлений как на самом Солнце, так и на планетах Солнечной системы /1, 7/. В результате всестороннего анализа в монографии /1/ делаются следующие выводы:

- Во второй половине первого десятилетия XXI века на ветви спада нечетного 11-летнего цикла солнечной активности ожидается преобладание формы W циркуляции.
- Во втором десятилетии можно ожидать увеличение повторяемости формы E циркуляции в связи с развитием четного 11-летнего цикла солнечной активности.
- В третьем десятилетии века есть основания ожидать преобладание формы C циркуляции. Аналогичная ситуация наблюдалась в 1920 и 1967 гг.
- В четвертом десятилетии века на фоне максимума векового цикла (2040 г.) ожидается увеличение меридиональных форм E+C циркуляции.
- В пятом десятилетии века на фоне начала спада векового цикла солнечной активности также ожидается преобладание меридиональных форм атмосферной циркуляции. Направленность этого процесса усугубляется еще и тем, что данный период совпадает с нечетным 11-летним циклом.
- В шестом десятилетии века можно ожидать чередования форм циркуляции, но все же при некотором преобладании западной (W) формы.
- В седьмом десятилетии будет наблюдаться пониженный уровень солнечной активности в вековом цикле, уменьшение межширотного обмена (преобладание формы W циркуляции).
- В последние три десятилетия ожидаются и есть основания ожидать преобладания формы W циркуляции (табл. 1).

Следует отметить, что границы эпох атмосферной циркуляции, определенные А.А. Дмитриевым и В.А. Беязо, очень близки к данным М.Х. Байдала, а также Н.С. Сидоренкова и И.А. Орлова, которые дают прогноз эпох атмосферной циркуляции на основе флуктуации скорости вращения Земли /8/.

Таким образом, в течение XXI века, по мнению /1, 8/, будут наблюдаться как периоды потепления, так и периоды похолодания. Последнее означает, что никакого экстремального потепления (тем более на 5–6 °С, по утверждению некоторых исследователей) на всей планете ожидать нет никаких оснований, хотя на определенную роль парникового эффекта указывали еще М.И. Будыко и М.Х. Байдал.

Как следует из анализа циркуляционных эпох, в большинстве случаев их границы совпадают с периодами максимумов 11-летних или 22-летних циклов солнечной активности. Неоднородность продолжительности циркуляционных эпох, возможно, связана с субъективностью определения границ последних, т.е. без учета объективных факторов, их определяющих.

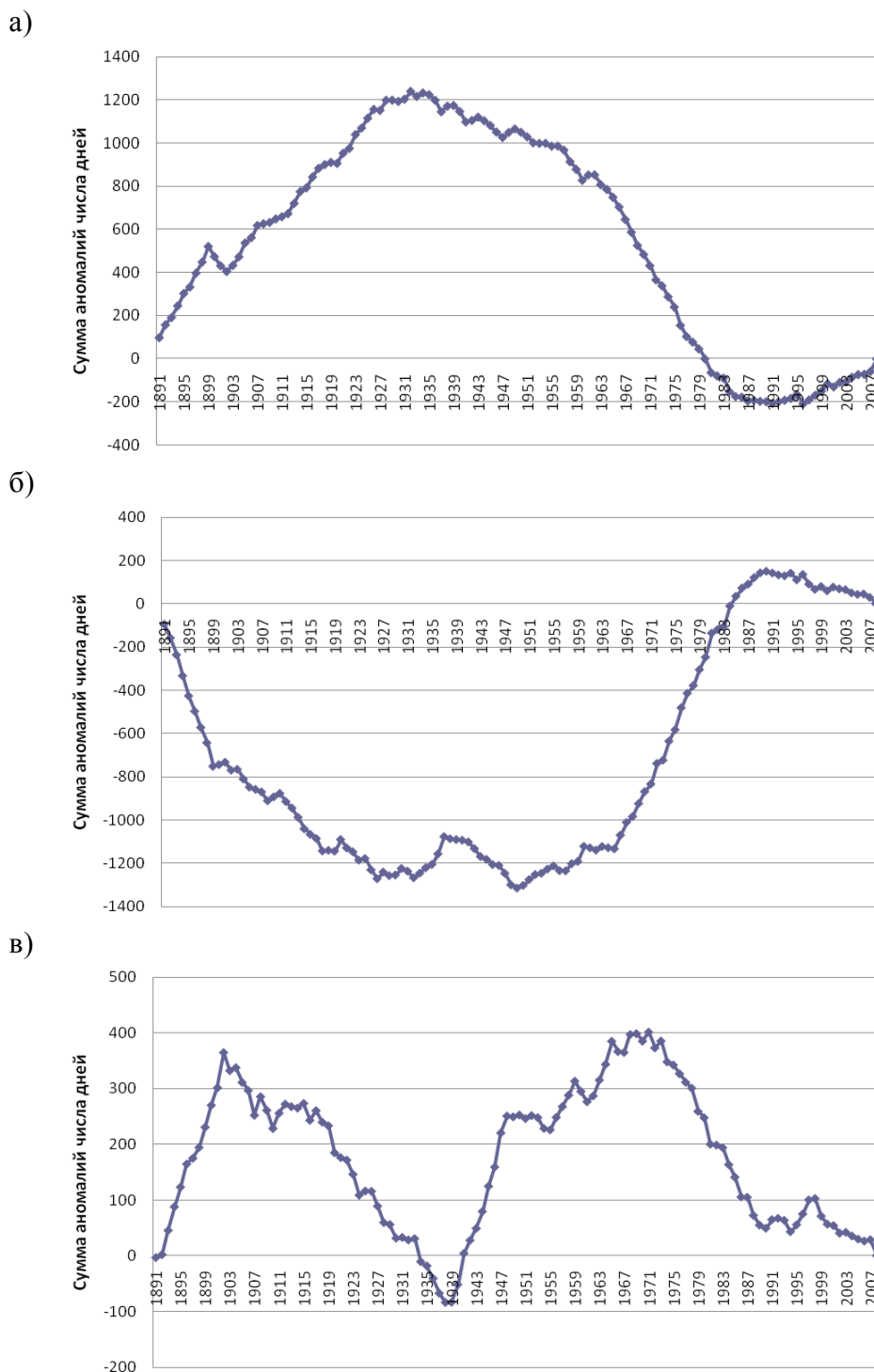


Рисунок 2. Изменение интегральной суммы аномалий годового числа дней с формами атмосферной циркуляции *W* (а), *E* (б) и *C* (в)

Исследование циркуляционных эпох имеет очень важное значение для диагноза и прогноза колебаний климата, речного стока, динамики ледников и пр.

Безусловный практический интерес представляют особенности распределения аномалий температуры и осадков по территории Казахстана для трех форм циркуляции. Такая работа была выполнена еще в 60-е годы XX века М.Х. Байдалом. За ряд лет (1930–1955 гг.) им были отобраны одноименные месяцы, в которых наблюдалось преобладание того или иного типа циркуляции, затем для каждой группы месяцев были составлены карты аномалий температуры воздуха и осадков, которые широко использовались при

составлении долгосрочных прогнозов погоды /3/. В предлагаемой работе проведен аналогичный анализ для всех сезонов года за период с 1971 по 2008 гг. Для каждого сезона года выбирались месяцы с преобладанием определенной формы циркуляции (более 15 дней) и построены карты средней аномалии температуры воздуха и аномалии осадков в процентах от среднего многолетнего значения. Основные закономерности распределения температуры и осадков по территории Казахстана, полученные М.Х. Байдалом, в основном сохранились, однако значения аномалии температуры воздуха в очагах увеличились на 1–2°C для всех форм циркуляции и наблюдается некоторое увеличение количества осадков для форм W и E.

Особенности распределения аномалии температуры воздуха для различных форм циркуляции.

При *западной (W) форме циркуляции* как отрицательная, так и положительная аномалия температуры воздуха отмечается во все сезоны года. От сезона к сезону происходит смещение очагов максимального её значения. Так, если весной максимальные положительные аномалии наблюдаются в центральной широтной зоне Казахстана (2–3 °C), то летом очаг максимальной положительной аномалии смещается на юг, а осенью – на крайний запад Республики (рис. 3).

При *меридиональной форме С* в течение всего года положительные аномалии температуры воздуха наблюдаются над большей частью Казахстана. Максимальные значения аномалии температуры воздуха составляют 3–5°C и смещаются от зимы к лету из центральных районов на восток. Исключение составляют западные районы республики, где зимой и весной имеют место небольшие положительные аномалии, а летом и осенью – небольшие отрицательные аномалии (рис. 4).

Меридиональная форма E характеризуется обратной форме С распределением аномалии температуры воздуха. Во все сезоны года над большей частью Республики наблюдается отрицательная аномалия температуры воздуха, доходящая в зимние месяцы в западной половине Казахстана до минус 4–5°C, летом в этих районах наблюдаются положительные аномалии до 3°C (рис. 5).

Приведенные особенности поля температуры воздуха для трех форм циркуляции являются средними характеристиками каждого сезона, в котором преобладает та или иная форма. В отдельные же месяцы (преимущественно зимние) отрицательные значения аномалии при форме E доходят до 8–10°C; а положительные значения при форме С, особенно летом, до 10°C. Эти экстремальные значения зависят не только от формы циркуляции и ее продолжительности, но и от характера эпохи.

Особенности распределения аномалии сезонного количества осадков для различных форм циркуляции.

Западная форма циркуляции зимой и летом характеризуется дефицитом осадков на значительной части территории Казахстана. Это объясняется, прежде всего, тем, что при данном типе циркуляции над Казахстаном в зимний период с востока на запад обычно располагается область повышенного давления, формирующаяся справа от вытянутой в широтном направлении ПВФЗ. Летом большая часть территории республики находится под влиянием Азиатской термической депрессии. В переходные сезоны количество осадков увеличивается, особенно в тех случаях, когда преобладание зонального типа циркуляции сочетается с преобладанием меридиональных форм E или С, т.е. наблюдается комбинированная циркуляция (рис. 6).

При *меридиональной циркуляции формы С* в западных и северо-западных районах Казахстана осадки во все сезоны больше нормы и достигают более 140%. На остальной части республики при этом наблюдается норма или дефицит осадков, а весной на востоке Республики и в летнее время в центральных и юго-западных районах дефицит осадков составляет 60% нормы (рис. 7).

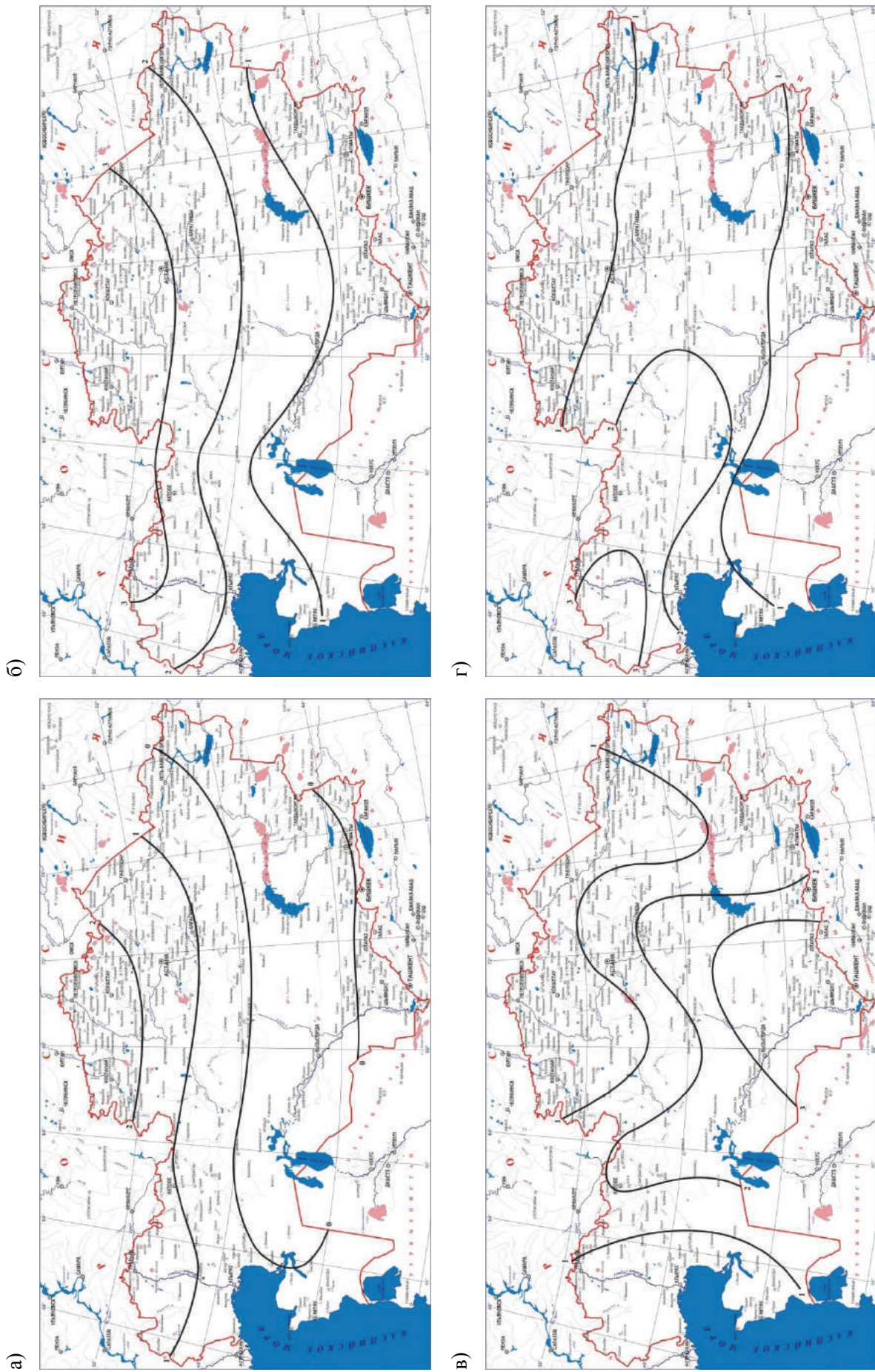


Рисунок 3. Аномалии температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) для формы циркуляции W
а) зима, б) весна, в) лето, г) осень

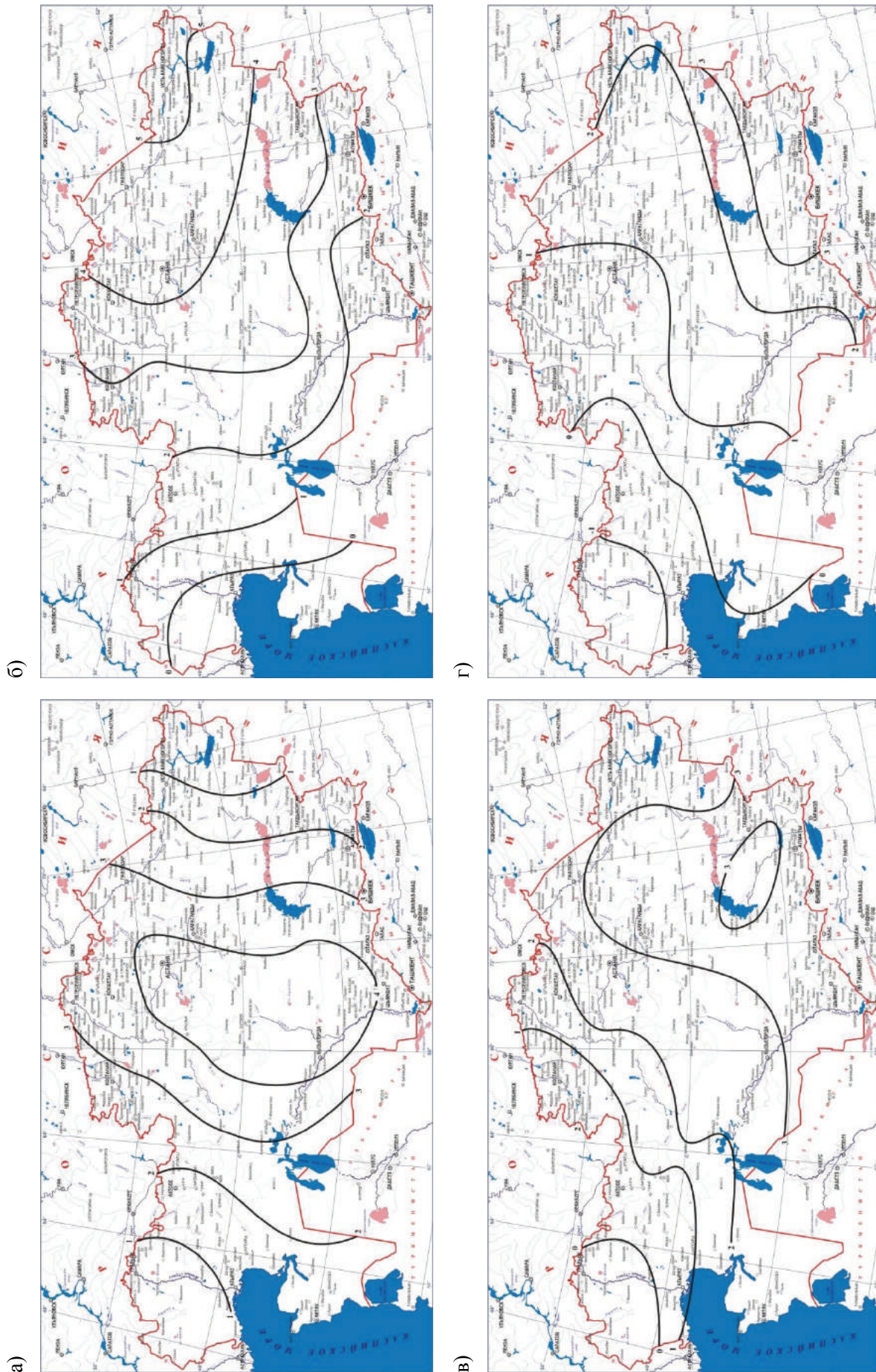


Рисунок 4. Аномалии температуры воздуха (°С) для формы циркуляции С
а) зима, б) весна, в) лето, г) осень

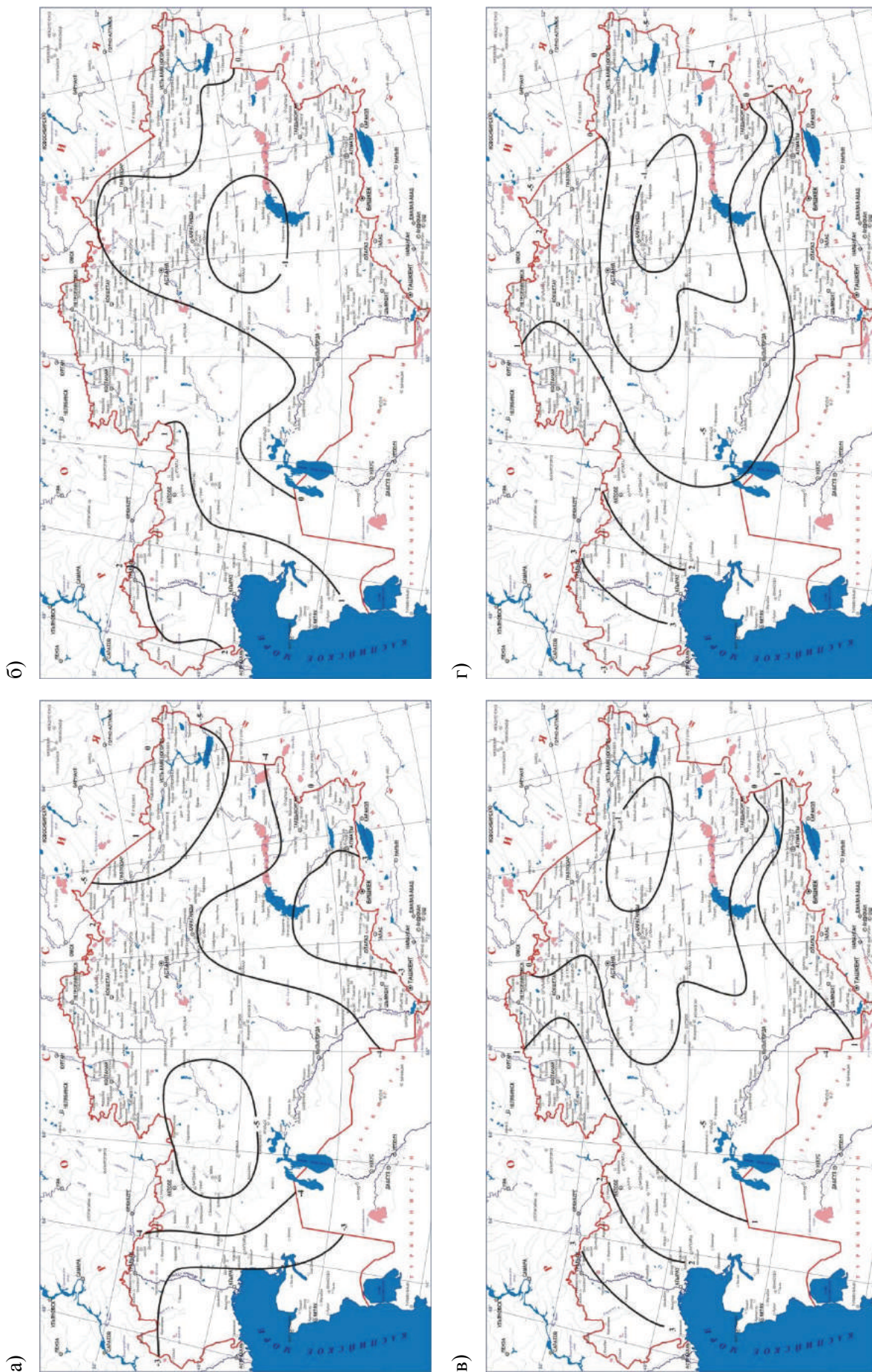


Рисунок 5. Аномалии температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) для формы циркуляции E
а) зима, б) весна, в) лето, г) осень

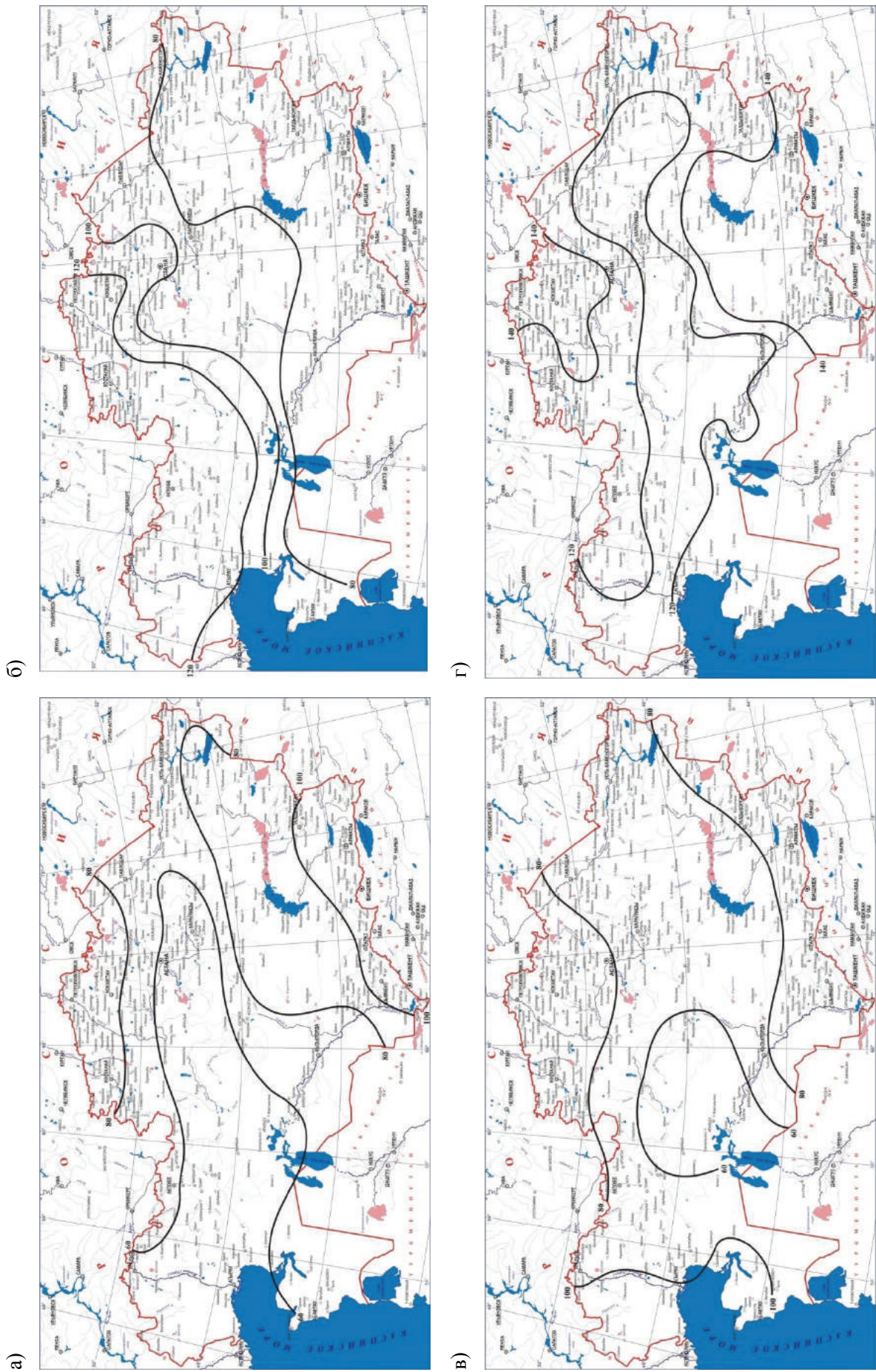


Рисунок 6. Аномалии месячных сумм осадков (%) для формы циркуляции III
а) зима, б) весна, в) лето, г) осень

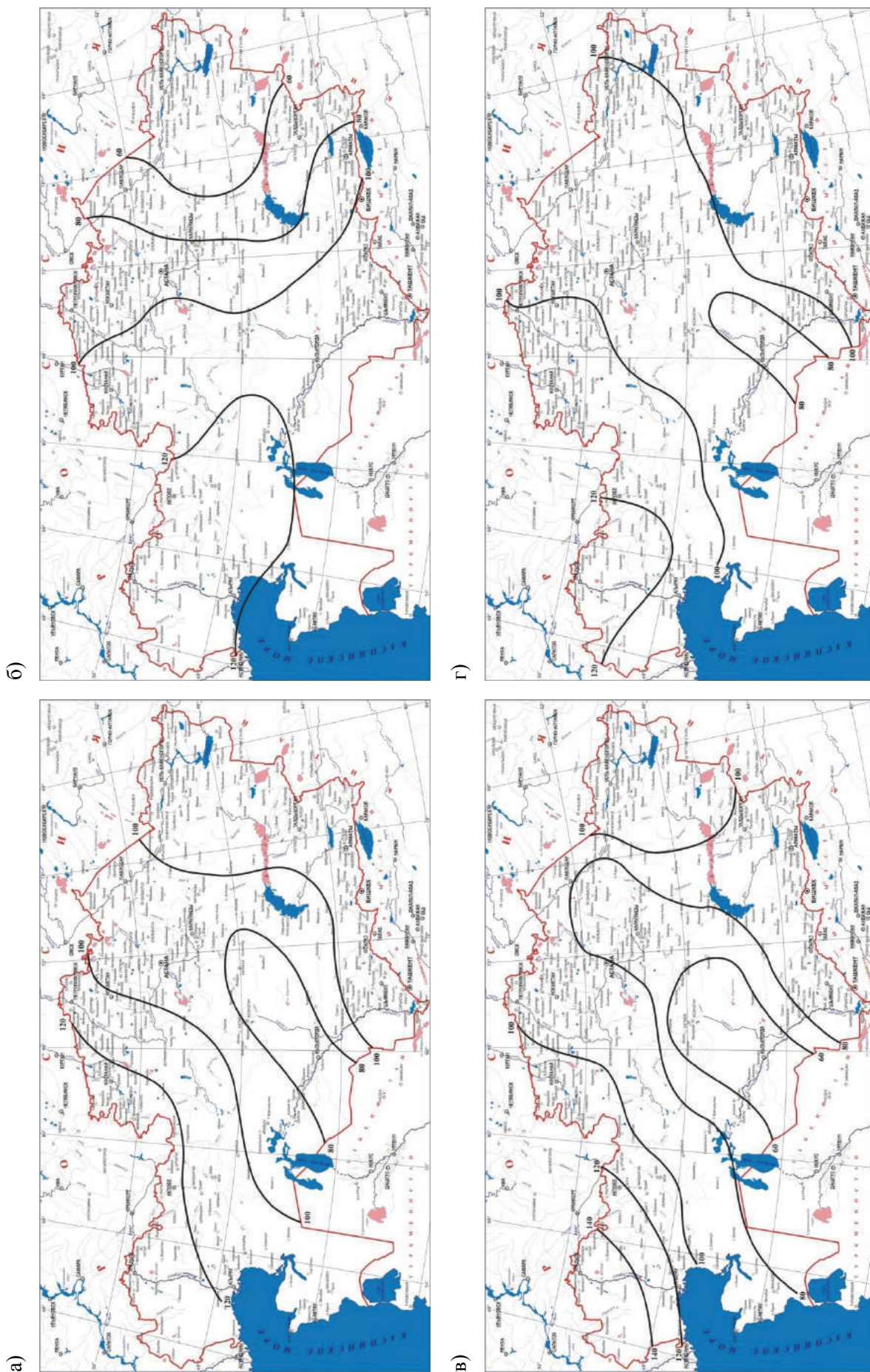


Рисунок 7. Аномалии месячных сумм осадков (%) для формы циркуляции С
а) зима, б) весна, в) лето, г) осень

При меридиональной циркуляции формы *E* количество осадков испытывает значительные колебания от сезона к сезону. Зимой в восточных и предгорных районах осадки больше нормы, а на остальной территории наблюдаются осадки в основном меньше нормы. Летом и переходные сезоны осадки больше нормы наблюдаются над восточной половиной Казахстана, а на западе они уменьшаются до 80% нормы (рис. 8).

Распределение аномалии температуры воздуха и осадков по территории Казахстана в отдельные месяцы может отличаться от выше приведенного, особенно если наблюдалась комбинированная циркуляция, которая в данной статье не рассматривалась. Заметим, что в сезоны с комбинированной циркуляцией, которые могут составлять до 30% общего числа случаев, распределение аномалий температуры воздуха и осадков по рассматриваемой территории имеет более сложный характер.

-
1. Дмитриев А.А., Белязо В.А. Космос, планетарная климатическая изменчивость и атмосфера полярных регионов. – С-Пб.: Гидрометеоздат, 2006. – 358 с.
 2. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеоздат, 1971. – 280 с.
 3. Байдал М.Х. Комплексный макроциркуляционный метод долгосрочных прогнозов погоды. – Л.: Гидрометеоздат, 1961. – 211 с.
 4. Байдал М.Х. Долгосрочные прогнозы погоды и колебания климата Казахстана. – Л.: Гидрометеоздат, 1964. – Ч. 1 и 2. – 446 с.
 5. Байдал М.Х. Колебания климата Кустанайской области в XX столетии. – Л.: Гидрометеоздат, 1971. – 156 с.
 6. Байдал М.Х., Ханжина Д.Г. Многолетняя изменчивость макроциркуляционных факторов климата. – М.: Гидрометеоздат, 1986. – 104 с.
 7. Борисенков Е.П. Гравитация, климат и погода // Вестник СПбГУ. – 1998. – Серия 7. – Вып. 1 (№7). – С. 87–91.
 8. Сидоренков Н.С., Орлов И.А. Атмосферные циркуляционные эпохи и изменения климата // Метеорология и гидрология. – 2008. – №9. – С. 22–29.

В.Г. Сальников, Г.К. Турулина, С.Е. Полякова

Қазақстандағы жауын-шашын және ауа температурасы ауытқуының таралу ерекшеліктері және атмосфера айналымы

Мақалада W, C және E атмосфера айналымының негізгі түрлеріне тән Қазақстандағы жауын-шашын және ауа температураларының ауытқу алқаптары қарастырылады.

V.G. Salnikov, G.K. Turulina, S.E. Polyakova

Atmospheric circulation and features of distribution of anomalies of temperature and precipitation in Kazakhstan

The fields of air temperature anomalies and precipitation in Kazakhstan, characteristic for the basic forms of atmospheric circulation W, C and E are considered in the article.

Статья рекомендована к печати д.г.н., проф. Р.И. Гальпериным (кафедра гидрологии суши)

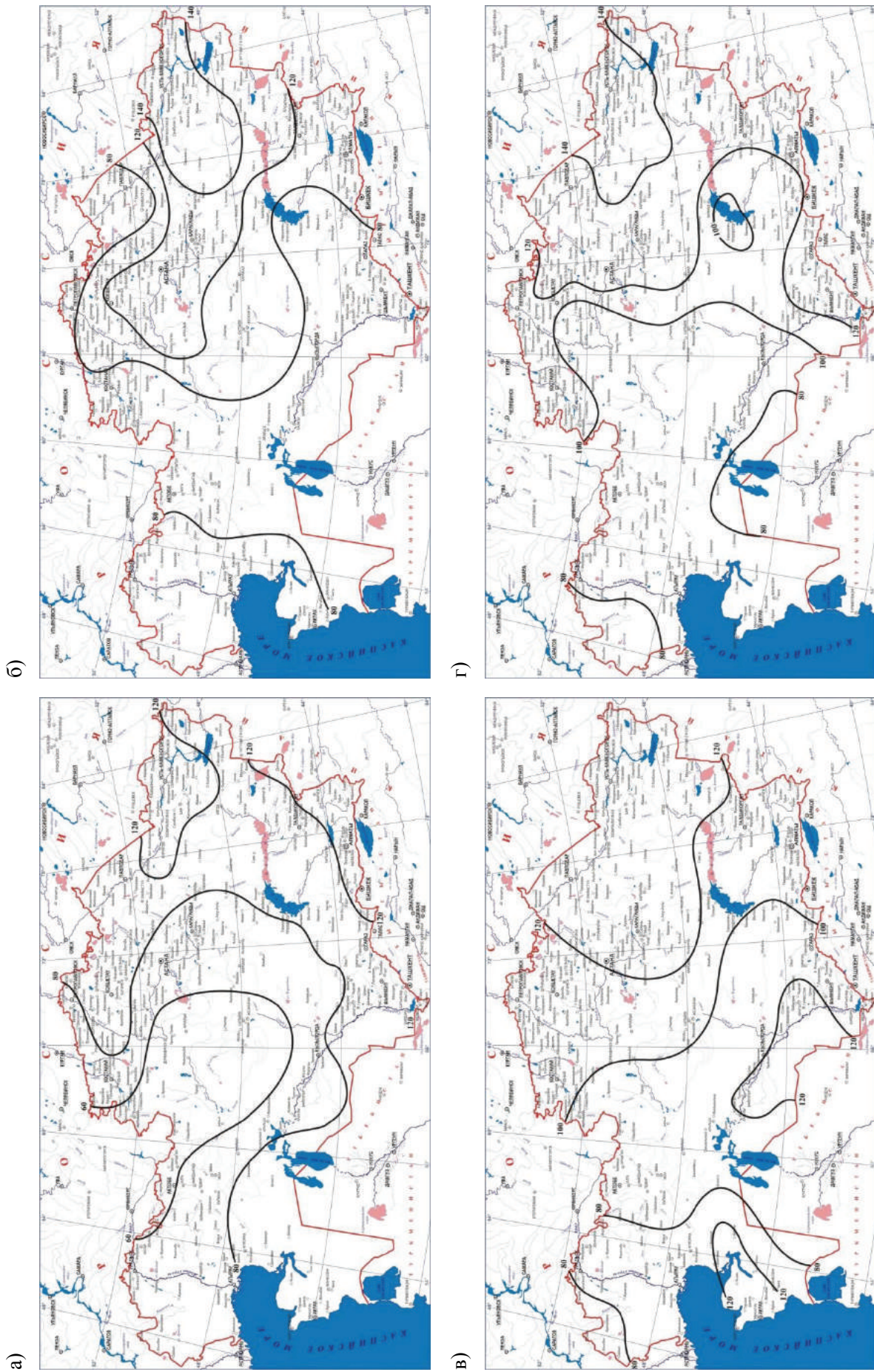


Рисунок 8. Аномалии месячных сумм осадков (%) для формы циркуляции E
а) зима, б) весна, в) лето, г) осень