



Изменения повторяемости атмосферных блокингов над регионами Казахстана в зимние месяцы 1960-2020 гг. и их влияние на температурные режимы

Холопцев А.В. ^a , Наурозбаева Ж.К. ^b

^a Севастопольское отделение Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова» (СО ФГБУ «ГОИН»), ул. Советская, 61, Севастополь, 299011, Россия

^b АО «Институт географии и водной безопасности», пр. Сейфуллина 458/1, Алматы, 050000, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Изучены особенности пространственной и временной изменчивости повторяемости атмосферных блокингов над территорией Казахстана в зимние месяцы, а также вариаций ее температурного режима для зимних месяцев. При обнаружении атмосферных блокингов в качестве фактического материала использована информация об изменениях над территорией Казахстана среднечасовых значений атмосферного давления, которые приведены к уровню моря, а также аналогичных значений геопотенциала, соответствующих изобарическим поверхностям 850, 500 и 300 гПа. При оценке влияния атмосферных блокингов на термический режим регионов Казахстана как фактический материал использованы результаты его мониторинга, проводившегося на расположенных в них метеостанциях Казгидромета, а также информация из архивов и электронных ресурсов. Предложена методика обнаружения атмосферных блокингов, обобщающая процедуры, которые традиционно используются для решения рассматриваемой задачи, что позволило снизить вероятности возникающих при этом ошибок. Для различных секторов территории Казахстана для всех зимних месяцев оценены средние значения повторяемости атмосферных блокингов за 1960-2020 гг., продолжительность которых не менее 5-10 суток, тенденции ее межгодовых изменений на отрезках времени, соответствующих различным частям современного климатического периода. Определены климатические нормы повторяемости таких блокингов для современного климатического периода и их изменения по отношению к базовому климатическому периоду (1961-1990 гг.). Также изучено влияние рассматриваемых атмосферных блокингов на термический режим различных регионов Казахстана, который характерен для зимних месяцев. Выявлены регионы Казахстана, где в периоды рассматриваемых атмосферных блокингов возникали наибольшие изменения их термического режима.

Подана в редакцию:
17 июня 2024

Принята к публикации:
8 декабря 2024

Доступ онлайн:
13 января 2025

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

атмосферные
блокинги, сильные
морозы, атмосферное
давление, реанализ

Для корреспонденции: Наурозбаева Ж. ✉ naurozbaeva.zhanar@mail.ru, АО «Институт географии и водной безопасности», пр. Сейфуллина 458/1, Алматы, 050000, Казахстан

1. Введение

Атмосферные блокинги (далее АБ), которые образуются над регионами Северного умеренного климатического пояса нашей планеты, способствуют приостановке над ними Западного переноса воздушных масс, что приводит в зимние месяцы к повышению рисков возникновения в них сильных морозов. Поэтому оценка тенденций межгодовых изменений повторяемости АБ для таких регионов является актуальной проблемой метеорологии, физической географии и агроклиматологии.

Так как сильные морозы существенно ухудшают условия зимовки растений и животных, решение указанной проблемы представляет наибольший интерес для регионов, в структуре экономики которых существенное место занимает сельское хозяйство. Одними из них являются регионы Казахстана, где усиление морозов способно наносить ущерб посевам озимых (Ежегодники по стихийным гидрометеорологическим явлениям, 1990-2015 гг.; Статистические данные РК, 2009).

Чем больше продолжительность периодов существования АБ и выше их повторяемость, тем тяжелее последствия усиления морозов. Следовательно, немалый теоретический и практический интерес представляет оценка тенденций изменений повторяемости АБ над различными регионами Казахстана для зимних месяцев, продолжительность которых превышает то или иное значение.

Современные представления о причинах возникновения АБ и их последствиях изложены в работах многих отечественных (Мохов, 2021; Мохов и др., 2013; Мохов, 2016; Шакина, Иванова, 2010) и зарубежных (Bacer и др., 2021; Barriopedro и др., 2006; Davini, D'Andrea, 2020; Drouard, Woollings, 2018) авторов. Из них следует, что причинами АБ могут служить процессы двух типов.

Блокирование меридионального типа, наиболее характерное для территорий Урала и Казахстана, может быть обусловлено особенностями обтекания воздушными течениями орографических неоднородностей (Antokhina и др., 2018; Luo, 2016).

Другой причиной АБ может служить и крупномасштабная неустойчивость зонального потока, приводящая к образованию мощной системы взаимодействующих антициклонов и циклонов (блокирование расщепляющегося типа) или мощного гребня и двух циклонов (омега-блокирование).

Впервые АБ меридионального типа начали изучаться еще в первой половине XX века (Дзерждзеевский, 1968; Дзерждзеевский и др., 1946). Дзерждзеевский Б. Л. рассматривал расположение подобных АБ в Северном полушарии как один из основных признаков происходящих здесь макроциркуляционных процессов, учитываемых при их типизации. Им было установлено, что рассматриваемые АБ

представляют собой высокие малоподвижные антициклоны, которые способны сохранять свое расположение в течение единиц-десятков суток.

Для выявления АБ могут быть использованы как синоптические карты, так и результаты глобальных атмосферных реанализов (IMERG: Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM; Hersbach, Dee, 2016; Hólm и др., 2020; Hoffmann и др., 2019).

Тенденции перемен каких-либо характеристик климата (в том числе и повторяемости АБ) Всемирной метеорологической организацией рекомендовано оценивать как значения разности их климатических норм, соответствующих современному климатическому периоду (1991-2020 гг.), по отношению к базовому климатическому периоду (1961-1990 гг.). Как показатели тенденции их межгодовых изменений на том или ином отрезке времени, которые происходят над определенным участком земной поверхности, могут рассматриваться значения углового коэффициента линейного тренда соответствующих временных рядов. Важными показателями являются также современные значения климатических норм изучаемых характеристик и их средние значения.

Учет оценок этих показателей пространственной и временной изменчивости повторяемости АБ при планировании многих видов хозяйственной деятельности на территории Казахстана позволил бы снизить риски, связанные с их возникновением. Тем не менее тенденции изменений повторяемости АБ различной продолжительности, которые возникали в зимние месяцы над различными частями территории Казахстана, ранее оценены не были.

Целью данной работы является оценка тенденций пространственной и временной изменчивости для зимних месяцев повторяемости АБ продолжительностью не менее 5 суток и ее климатических норм для различных частей территории Казахстана, а также вызванных этими процессами изменений их термического режима.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

- оценка тенденций пространственной и временной изменчивости для зимних месяцев повторяемости АБ продолжительностью не менее 5 суток и ее климатических норм для различных частей территории Казахстана;
- оценка изменений термических режимов различных регионов Казахстана, которые возникали в периоды существования над ними рассматриваемых атмосферных блокингов.

2. Материалы и методы

Причиной недостаточной изученности пространственно-временной изменчивости повторяемости АБ над территорией Казахстана является несовершенство существующих методик их обнаружения (Кожаметов, Кожаметова, 2016; Кожаметов и др., 2015) на фоне других процессов, которые также способны приводить в зимние месяцы к возникновению сильных морозов. Примерами последних могут служить изменения характеристик Сибирского антициклона (Коженкова, 1976).

Для выявления АБ изначально применялась методика, предложенная Дзердзеевским (Дзердзеевский, 1968; Дзердзеевский и др., 1946). В соответствии с ней обнаружение АБ производилось по результатам анализа приземной синоптической карты, которая отражала распределение в Северном полушарии приведенного к уровню моря атмосферного давления.

Решение об обнаружении над исследуемой территорией АБ принималось, если на упомянутой карте в соответствующем диапазоне долгот существовал барический гребень, простирающийся между Арктикой и некоторым Субтропическим антициклоном (приблизительно между параллелями 70° с. ш. и 40° с. ш.).

При этом учитывались барические гребни, в которых приведенное атмосферное давление превосходило 1015 гПа на некоторую заданную величину $L > 0$.

Преимущество упомянутой методики - ее наглядность и возможность осуществления без использования компьютера. Основной ее недостаток состоит в том, что анализ синоптических карт приходится проводить вручную. В результате этого могут возникать как пропуски АБ, так и ложные тревоги (принятие за АБ иных барических неоднородностей).

Как уже упоминалось выше, АБ - высокий антициклон, вследствие чего атмосферное давление в нем повышено во всех слоях тропосферы, а не только в ее приземном слое. Подтвердить или опровергнуть наличие у рассматриваемого барического гребня такого свойства по приземной синоптической карте невозможно.

Указанный недостаток не может быть устранен и в случае применения в качестве фактического материала соответствующих результатов реанализа. Одним из таких реанализов является ERA 5 (поддерживаемый Copernicus) (IMERG: Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM). В нем сведения, необходимые для обнаружения АБ, представлены для всех узлов координатной сетки с шагом 0,25 градуса, а также для каждого часа, относящегося к периоду от 00.01.01.1959 и до настоящего времени.

Еще одна распространенная методика выявления АБ базируется на применении критерия, предложенного Лежёнасом и Оклендом (1983) (Мохов, 2021; Мохов и др., 2013; Мохов, 2016; Шакина, Иванова, 2010). Она основана на том, что при отсутствии АБ в тропосфере умеренных широт Северного полушария преобладает западный перенос воздушных масс, а меридиональный градиент геопотенциала направлен в сторону экватора. Значение модуля этого градиента максимально в широтном поясе 40о-60о с.ш. Решение об обнаружении АБ принимается, если в течение не менее чем 5 суток

$$\Phi(500) = [I(l - 10) + I(l) + I(l+10)] < 0, \quad (1)$$

где: $I(l) = H(l, 40^\circ \text{ с. ш.}) - H(l, 60^\circ \text{ с. ш.})$ - индекс Лежёнаса - Окленда; H - высота изобарической поверхности 500 мб; l - долгота.

Упомянутая методика может быть реализована без участия человека и позволяет исключить ошибочное принятие за АБ барических гребней недостаточно большой ширины по долготе. При этом рассматриваемая методика (Мохов и др., 2013; Мохов, 2016) не позволяет исключить возможность принятия за АБ (высокий антициклон) других барических неоднородностей.

В данной работе для обнаружения АБ применен подход, который обобщает упомянутые выше методики и частично свободен от указанных недостатков. В соответствии с ним решение об обнаружении над рассматриваемым участком территории АБ принимается, если в течение не менее 5, 6, 8 или 10 суток во всех узлах координатной сетки реанализа, расположенных между параллелями 40° с. ш. и 47° с. ш. на меридиане l :

- приведенное к уровню моря атмосферное давление превышает 1015 гПа не менее чем на заданную величину L ;

- значения геопотенциала соответствующих изобарическим поверхностям 300, 500 и 850 гПа в рассматриваемые даты превышает среднемесячные значения этих показателей не менее чем на $200 \text{ м}^2/\text{с}^2$;

- критерий Лежёнаса - Окленда выполняется для изобарических поверхностей не только 500 гПа, но также 300 и 850 гПа.

Очевидным недостатком такой методики является более высокая ее сложность. Вместе с тем упомянутые выше свойства АБ меридионального типа в ней учитываются более полно. Вследствие последнего при ее применении вероятности принятия ложных решений о наличии АБ могут быть меньше, чем при использовании упомянутых выше методик, при условии, что вероятности пропусков АБ сохраняются такими же.

Учитывая особенности предложенной методики выявления АБ, при решении первой задачи как фактический материал использована информация реанализа ERA 5 об изменениях приведенного к уровню моря атмосферного давления в приземном слое, а также значений геопотенциала, соответствующих изобарическим поверхностям 300, 500 и 850 гПа. Предполагалось, что $L = 5$ гПа.

Как характеристика повторяемости изучаемых АБ в том или ином месяце рассматривалась суммарная продолжительность периодов их существования (далее РАБ). Если АБ начинался в одном месяце, а заканчивался в другом, при подсчете РАБ продолжительность этого АБ учитывалась для того месяца, к которому относилась большая ее часть.

Как характеристика тенденции перемен климатических норм (КН) РАБ в каждом изучаемом секторе рассматривалась разность их значений для современного климатического периода (1991-2020 гг.) и базового климатического периода (1961-1990 гг.).

Как характеристика тенденций межгодовых изменений РАБ на различных отрезках современного климатического периода оценивались значения углового коэффициента линейного тренда временных рядов этого показателя. Такие оценки выполнены для периодов 1991-2020 гг., 2000-2020 гг., а также 2010-2020 гг.

Выявленная тенденция признавалась значимой, если вероятность адекватности такого статистического вывода превышала 0,9.

При оценке этой вероятности предполагалось, что временной ряд значений рассматриваемого показателя Y_k ($k = 1, 2, \dots, K$) сформирован из выборок G_k нормального случайного процесса с нулевым средним и среднеквадратическим отклонением СКО, которые наложены на соответствующий линейный тренд

$$Y_k = G_k + z_k$$

Значения A и СКО вычислялись для каждого изучаемого сектора и каждого зимнего месяца за указанные периоды времени.

Решение о значимости вычисленного показателя A принималось, если вероятность события, при котором: $A * K > \text{СКО}$, превышала 0,9. Поскольку G_k подчиняется нормальному закону, такое решение принималось в случаях, когда $A * K > 1,3 * \text{СКО}$.

Как характеристика пространственной изменчивости РАБ изучалась зависимость этого показателя от средней долготы (l) сектора шириной 1° , для которого она оценивалась. Указанные зависимости исследовались для каждого месяца, а также для случаев, когда минимальная продолжительность АБ составляла 5, 6, 8 и 10 суток.

При решении второй задачи в качестве фактического материала привлечены суточные данные 13 станций РГП «Казгидромет» по температуре воздуха за тот же период (их расположение показано на рис. 1).

Как видно из рис. 1, учитываемые станции находятся практически во всех регионах Казахстана.

Методика решения второй задачи предполагала выполнение следующих действий.

1. Оценка качества и однородности многолетнего ряда данных.
2. Оценка значений современных и базовых климатических норм среднемесячных температур воздуха для всех учитываемых пунктов территории Казахстана.
3. Определение регионов, где в периоды существования АБ возникали наибольшие изменения их температурного режима (на примерах суровых и мягких зим).
4. Вычисление отклонений от климатической нормы температуры воздуха, оценка тенденций изменений температурного режима, минимальных температур воздуха.

Рассматриваемые при решении второй задачи временные ряды температур воздуха сформированы из результатов мониторинга, полученных на соответствующих метеостанциях. Пропуски заполнены сведениями, полученными из архивов и книжек наблюдателя (КГМ-1).

Поскольку однородность полученных при этом временных рядов очевидной не являлась, на первом этапе решения второй задачи осуществлена ее проверка с использованием критериев Диксона и Смирнова - Граббса (Закс, 1976). Оценка однородности рядов осуществлялась также с применением критериев Фишера (Ф) и Стьюдента (Ст). При осуществлении прочих этапов решения этой задачи также применялись методы математической статистики.



Рис. 1. Расположение гидрометеорологических станций и схема административно-территориального деления.

*Примечание: новые области Абай, Жетысу, Улытау с 2022 г.

3. Результаты исследования и их анализ

При решении первой задачи, с использованием изложенной методики, выявлены все АБ продолжительностью не менее 5, 6, 8 и 10 суток, которые наблюдались в период с декабря по февраль в каждом секторе территории Казахстана шириной 1° . Эта информация использована для оценки РАБ (l) для АБ той или иной минимальной продолжительности, соответствующих указанным месяцам каждого года. Из оценок РАБ (l) для каждого сектора и каждого месяца сформированы соответствующие временные ряды, по которым определены значения всех изучаемых показателей.

На рис. 2 представлены зависимости средних за 1960-2020 гг. значений РАБ (l) для декабря, января и февраля от средней долготы l сектора, для которого они оценивались, соответствующие различным значениям их минимальной продолжительности.

Из рис. 2 видно, что на всей территории Казахстана РАБ (l) для того или иного зимнего месяца тем больше, чем меньше минимальная продолжительность АБ. Повторяемость АБ над западной и восточной частью территории Казахстана в декабре и январе повышена. В феврале наибольшие значения этой характеристики наблюдаются в области, которая смещена к центральной части территории Казахстана.

На рис. 3 отображены зависимости КН РАБ (l) по месяцам (декабрь, январь, февраль) для базового и современного климатического периода.

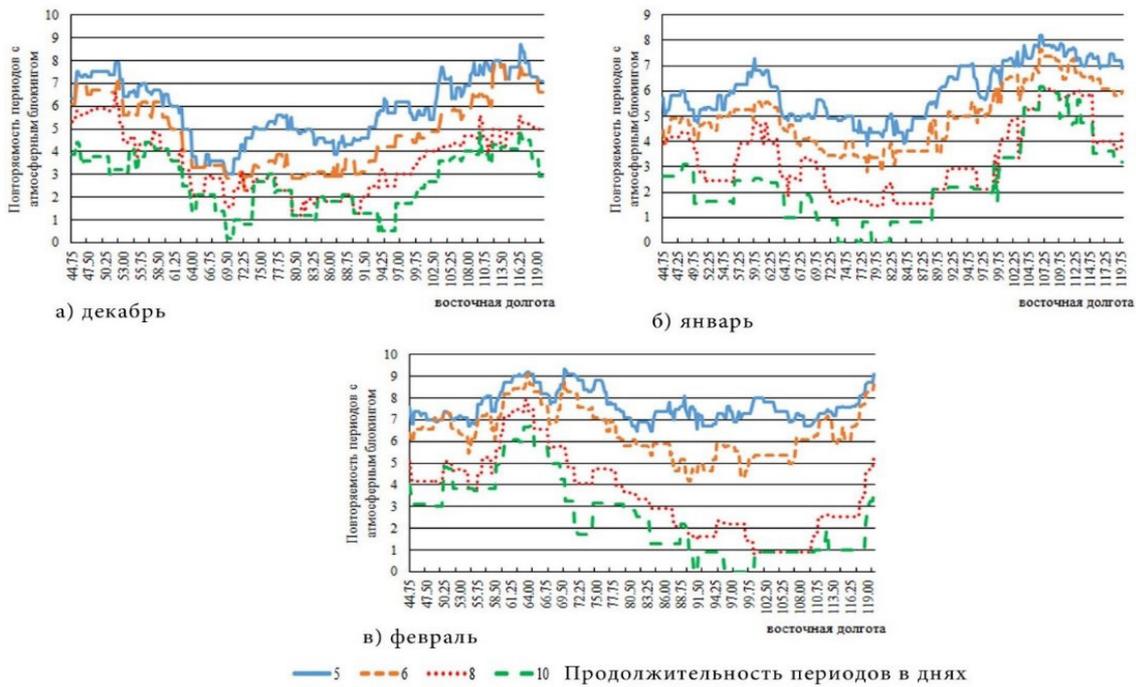


Рис. 2. Зависимости от долготы (l) РАБ (l) (для параллели 45° с.ш.)

а) декабрь; б) январь; в) февраль

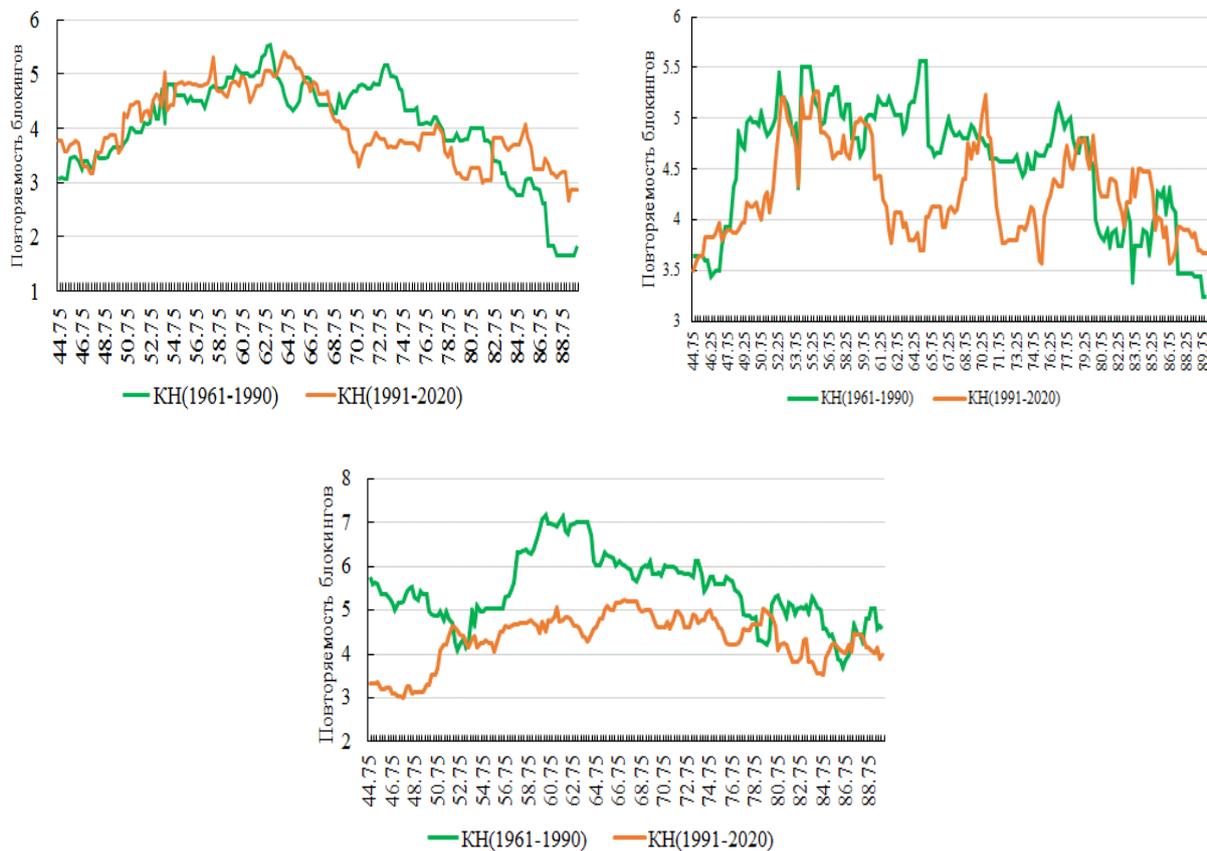


Рис. 3. Зависимости КН РАБ (l) для месяцев а) декабрь; б) январь; в) февраль

Как видно из рис. 3а, существенные снижения КН РАБ для декабря выявлены для секторов, которые расположены между меридианами 69° в.д. и 83° в.д. К этим секторам относятся территории Северо-Казахстанской, Акмолинской, Карагандинской, Южно-Казахстанской и Жамбылской областей.

Увеличение КН РАБ для декабря имело место для секторов 83° - 90° в.д. (Восточно-Казахстанская и частично Алматинская область). При этом КН РАБ для современного периода достигали наибольших значений в секторе 64° - 65° в.д. (Кызылординская, Карагандинская и Костанайская области).

Рис. 3б показывает, что для января общее количество секторов, для которых имело место снижение КН РАБ (I), было существенно больше, чем для декабря. К таким секторам также относились 47° - 53° в.д. (Западно-Казахстанская, Атырауская и Мангистауская области) и 83° - 90° в.д. Наибольших значений КН РАБ для современного периода достигали в секторе 53° - 55° в.д. (Западно-Казахстанская, Атырауская и Мангистауская области).

Как следует из рис. 3в, для февраля снижение КН РАБ наблюдалось практически на всей территории Казахстана. Наибольших значений КН РАБ для современного периода достигали в секторе 66° - 68° в.д. (Северо-Казахстанская, Акмолинская, Карагандинская, Южно-Казахстанская и Жамбылская области).

Из сравнения рис. 3а и рис. 3в следует, что тенденция к увеличению КН РАБ выявлена лишь для декабря и января и только в восточных регионах Казахстана (83° - 90° в.д.), где в эти месяцы господствует Сибирский антициклон. Для февраля в указанных регионах обнаружена противоположная тенденция.

На рис. 4 представлены зависимости от средней долготы сектора соответствующих значений углового коэффициента линейного тренда временных рядов, описывающих изменения РАБ для АБ продолжительностью не менее 5 суток для месяцев декабрь, январь, февраль и периодов 1991-2020 гг., 2000-2020 гг., а также 2010-2020 гг.

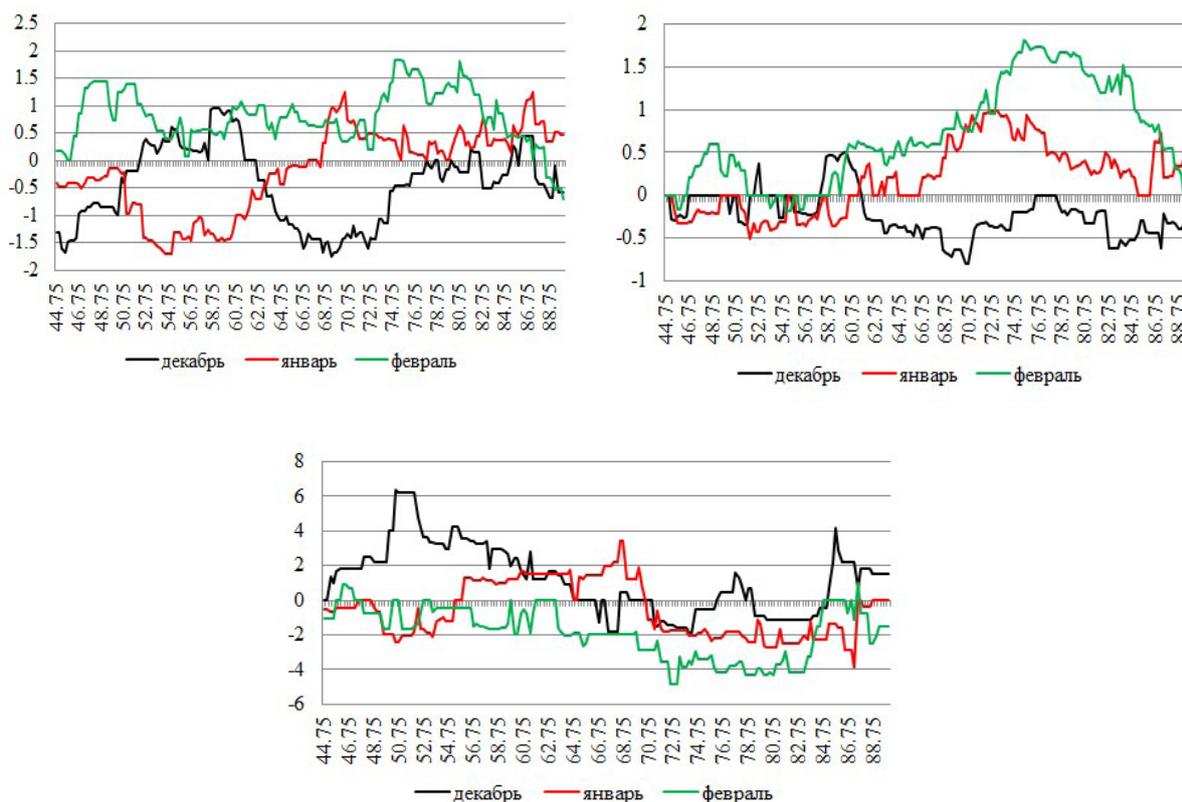


Рис. 4. Зависимости от средней длины участков территории Казахстана соответствующих им значений углового коэффициента линейного тренда (0,9) межгодовых изменений РАБ для периодов: а) 1991-2020; б) 2000-2020; в) 2010-2020.

Из рис. 4а видно, что в период 1991-2020 гг. количество секторов территории Казахстана, где преобладали тенденции к увеличению РАБ, возрастало от декабря к февралю. Для периода 2000-2020 гг. аналогичная закономерность проявлялась лишь для центральных и восточных регионов Казахстана.

Для периода 2010-2020 гг. от декабря к февралю увеличивалось количество секторов территории Казахстана, где преобладали тенденции к снижению РАБ.

Аналогичные выводы получены и для АБ, минимальная продолжительность которых составляла 6, 8 и 10 суток.

При решении второй задачи была произведена оценка однородности эмпирического распределения температуры воздуха по критериям Диксона и Смирнова - Граббса. На изучаемых станциях она составила более 10 %, что позволило принять ряд как однородный. При этом для всех 13 станций для каждого года оценены среднемесячные температуры воздуха зимних периодов.

Предполагалось, что минимальное значение продолжительности АБ составляет 5 суток. Как известно (Копонова, Луро, 2020; Masato и др., 2014; Mokhov,

Timazhev, 2019), следствием продолжительных АБ зимой является понижение температур воздуха. К тем же последствиям приводят соответствующие изменения состояния Сибирского антициклона. В разных регионах Казахстана вклады указанных процессов в изменения термического режима в зимние месяцы могут быть различными.

Климатические нормы среднемесячных температур воздуха для зимних месяцев в пунктах различных регионов Казахстана, которые соответствуют современному и базовому климатическому периоду, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значения КН среднемесячных температур воздуха (°С) для периодов 1961-1990 и 1991-2020 гг.

Метеостанция		декабрь		январь		февраль	
Название пункта	Долгота	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
Актау	51.11	1.2	1.3	-1.8	-0.3	-1.2	0.7
Уральск	51.22	-8.4	-8.2	-12.6	-10.4	-12.5	-10.3
Атырау	51.53	-4.3	-4.2	-8.4	-6.4	-7.9	-5.6
Актюбинск	57.10	-9.9	-9.8	-14.1	-12.5	-13.9	-11.6
Костанай	63.38	-12.7	-12.5	-16.5	-15.0	-15.7	-14.0
Кызылорда	65.31	-4.9	-5.0	-8.4	-6.8	-7.7	-4.3
Жезказган	67.42	-10.3	-10.7	-14.3	-13.4	-14.3	-12.2
Петропавловск	69.08	-14.0	-13.7	-17.3	-16.7	-16.5	-14.8
Тараз	71.22	-2.0	-1.6	-4.6	-3.1	-3.6	-1.1
Астана	71.44	-12.6	-12.0	-15.7	-14.6	-15.9	-13.4
Алматы	76.54	-3.4	-2.7	-6.0	-4.6	-4.9	-2.2
Павлодар	76.57	-13.6	-13.1	-16.9	-17.0	-16.9	-14.6
Усть-Каменогорск	82.37	-13.4	-11.8	-15.6	-15.8	-15.8	-13.3

По данным таблицы 1 следует, что для декабря значения климатической нормы среднемесячных температур воздуха для современного климатического периода и для базового климатического периода практически одинаковы.

Для января и февраля значения климатической нормы среднемесячных температур воздуха для современного климатического периода всюду значительно выше, чем для базового периода. Полученный результат подтверждает справедливость выводов о происходившем в 1961-2020 гг. потеплении регионального климата (Кожухметов, Кожухметова, 2016; Кожухметов и др., 2015, Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана).

Из сравнения сведений, представленных в таблице 1, а также на рис. 3, следует, что имеет место соответствие между зависимостями КН РАБ (I) и КН

среднемесячных температур воздуха. К примеру, на участке в диапазоне 69-73 в.д., где расположены станции Астана, Петропавловск, Тараз, наблюдается снижение КН температур и зависимости КН РАБ (l) для месяцев декабрь, январь, февраль для базового и современного климатического периода на рисунке 3 им соответствует, базовый значительно выше современного.

В таблице 2 представлены значения углового коэффициента линейного тренда среднемесячных температур воздуха для зимних месяцев в тех же пунктах Казахстана, соответствующие периоду 2010-2020 гг.

Таблица 2. Значения углового коэффициента линейного тренда среднемесячных температур воздуха над пунктами территории Казахстана, для периода 2010-2020 гг.

Станция	декабрь	январь	февраль
Актау	0.00	0.32	0.59
Уральск	-0.46	0.00	0.74
Актюбинск	0.00	0.50	0.83
Костанай	0.00	0.56	0.62
Кызылорда	0.00	0.45	0.82
Жезказган	0.00	0.00	0.60
Петропавловск	0.00	0.00	0.42
Тараз	0.00	0.00	0.75
Алматы	0.00	0.00	0.64
Астана	0.00	0.00	0.65
Павлодар	0.00	0.51	0.66
Усть-Каменогорск	0.00	0.60	0.98

Из таблицы 2 следует, что в период 2010-2020 гг. наиболее интенсивное потепление термического режима происходило в феврале и на востоке территории Казахстана. Так, в Усть-Каменогорске значения достигают 0,98, а в Актюбинске и Кызылорде - 0,82.

Из сравнения сведений, представленных в таблице 2, а также на рис. 4в, видно, что имеет место соответствие между тенденциями изменения в 2010-2020 гг. РАБ (l) и среднемесячных температур воздуха.

По всему Казахстану суровые зимы наблюдались в 1968-1969, 1976-1977, 2002-2003, 2011-2012 гг. и теплые зимы в 1965-1966, 2015-2016, 2019-2020 гг.

На рис. 5 в качестве примера приведены значения среднемесячной температуры воздуха на учитываемых метеостанциях Казахстана для февраля 1968 и 2016 г., в которые зима была суровой и мягкой соответственно.

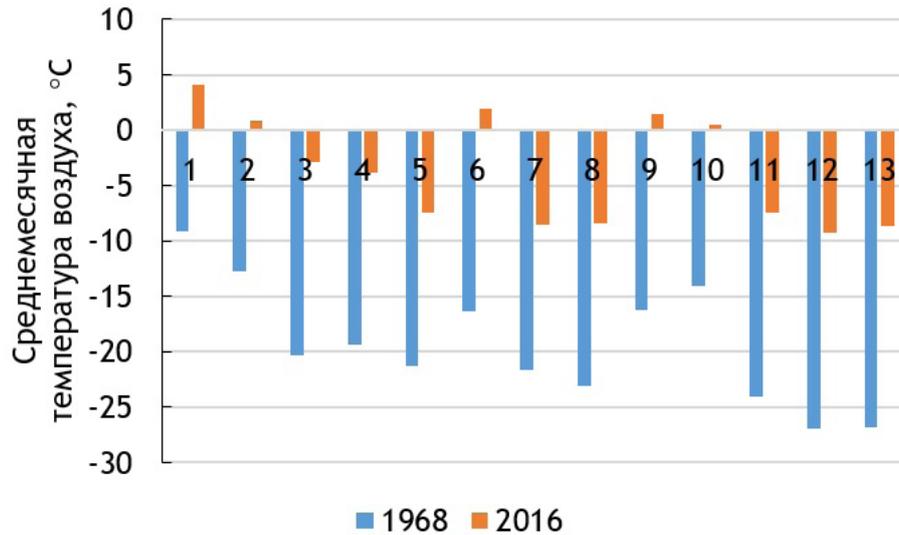


Рис. 5. Среднемесячная температура воздуха в феврале 1968 и 2016 г.: 1 - Актау; 2 - Атырау; 3 - Уральск; 4 - Актюбинск; 5 - Костанай; 6 - Кызылорда; 7 - Жезказган; 8 - Петропавловск; 9 - Тараз; 10 - Астана; 11 - Алматы; 12 - Павлодар; 13 - Усть-Каменогорск.

В феврале 1968 г. АБ над территорией Казахстана происходили с 3.02 по 10.02 и с 21.02 по 25.02, а в феврале 2016 г. с 12.02 по 19.02.

В периоды существования АБ, относящиеся к 1968 г., в Усть-Каменогорске минимальные температуры воздуха опускались до $-34,7^{\circ}\text{C}$. Здесь в течение 4 ночей температура была ниже -34°C . В Павлодаре в это время температура опускалась до $-33,5^{\circ}\text{C}$. А на юге Казахстана в г. Тараз отмечено снижение температуры воздуха до $25,2^{\circ}\text{C}$.

В феврале 2016 г. в периоды существования АБ температура воздуха в Усть-Каменогорске опустилась до $25,5^{\circ}\text{C}$, в Таразе до $19,2^{\circ}\text{C}$.

В периоды отсутствия АБ температуры воздуха и в суровые, и в мягкие зимы соответствовали КН или превышали их.

На рисунке 6 представлены межгодовые изменения минимальной температуры воздуха для февраля, которые соответствуют некоторым пунктам на территории Казахстана.

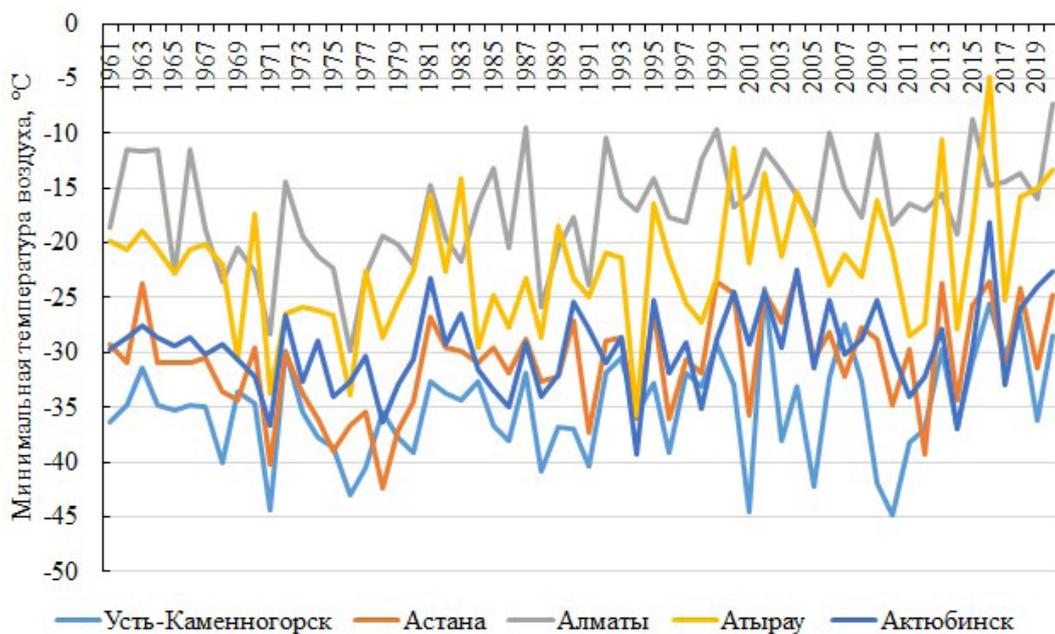


Рис. 6. Межгодовые изменения минимальных температур воздуха для февраля.

Как видно из рис. 6, станция Усть-Каменногоorsk за последние 10 лет не фиксирует температуру ниже 40 оС. На всех станциях в период после 1976 г. прослеживается тенденция увеличения температуры воздуха, в особенности в Атырау и Алматы.

Как сообщается в ежегодных бюллетенях РГП Казгидромет, устойчивое повышение средней годовой температуры воздуха в современном периоде наблюдается на всей территории Казахстана. В среднем по территории Казахстана повышение среднегодовой температуры воздуха составляет 0,32 °С каждые 10 лет. Диапазон роста находится от 0,23 °С/10 лет в Карагандинской области до 0,54 °С/10 лет в Западно-Казахстанской (Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана).

В последние десятилетия сокращается количество суток с заморозками и с сильными морозами, при которых температуры воздуха снижаются ниже 20 °С. Существенно сокращается количество таких суток (на 2-3 суток/10лет) в северо-западных, центральных и юго-восточных регионах. В некоторых районах Восточно-Казахстанской области повторяемость суток с очень жесткими морозами уменьшается более значительными темпами - на 4-5 суток/10лет (Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана).

Повышение приземной температуры воздуха над территорией Казахстана ведет к сокращению периода с отрицательными температурами. Вследствие

этого в современном периоде осадки здесь чаще выпадают в жидком виде, а запасы снега, накапливающиеся за холодный период года, уменьшаются. В горных районах сокращается площадь расположенных в них ледников.

В среднем для Казахстана тенденция к потеплению зимнего сезона составляет $0,19\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет за период с 1941 по 2021 г. Наибольший рост $0,33\text{--}0,47\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет отмечается в западном регионе (в Западно-Казахстанской, Атырауской, Мангистауской областях). В декабре устойчивых тенденций в изменении средних месячных температур не наблюдается, максимальные значения на западе и достигают $0,42\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет. В январе, как самом холодном месяце года, понижение значений температуры было отмечено в северных, центральных и восточных регионах, при этом на востоке скорость изменения составила $0,60\text{--}0,75\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет, а в западных регионах $0,40\text{--}0,55\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет. В феврале на территории Казахстана прослеживается тенденция повышения температуры воздуха. Максимальные скорости этого процесса соответствуют территориям его западных областей и составляют $0,80\text{--}1,14\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет (Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана).

На рис. 7 сопоставлены значения средней температуры воздуха для периодов времени, в которые АБ над территорией Казахстана существовали, а также для периодов, когда они не были обнаружены, вычисленные по результатам мониторинга термического режима в некоторых пунктах на территории Казахстана в феврале 2012 г. и 2020 г.

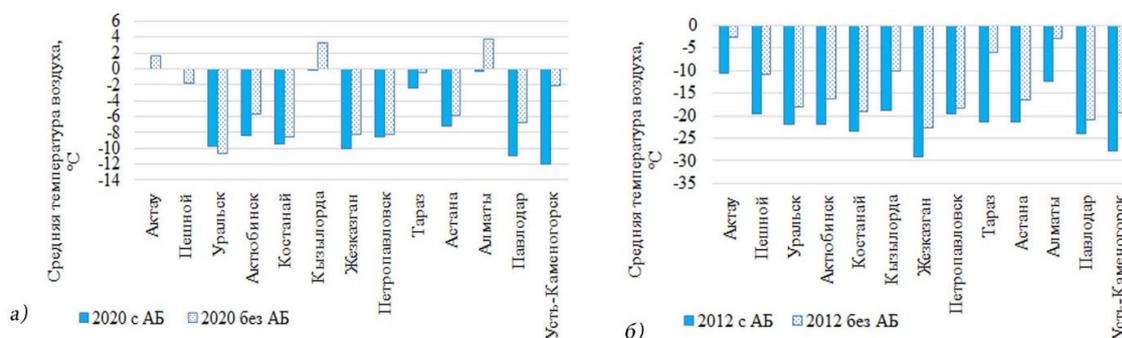


Рис. 7. Значения средней температуры воздуха в феврале, вычисленные за периоды с АБ и без АБ: а) 2012 г. б) 2020 г.

Из рис. 7 следует, что средняя температура воздуха во всех рассматриваемых пунктах Казахстана, соответствующая периодам с присутствием АБ, в рассматриваемые годы была существенно ниже, чем при отсутствии АБ. Средние значения февральских температур воздуха по всем метеорологическим

станциям, которые соответствуют периодам с АБ, а также без АБ, для 2020 г. составляют $-19,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-12,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для 2020 г. те же характеристики составляют $-7,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно.

Средние значения температур воздуха по регионам Казахстана для февраля таковы:

- для восточного региона (Усть-Каменогорск и Павлодар) для периодов с АБ для 2012 г. составляют $-25,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для периодов без АБ $-11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для 2020 г. аналогичные показатели составляют $-20,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$;

- для северного региона (Петропавловск, Астана, Кустанай) для периодов с АБ и без АБ для 2012 г. составляют $-21,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для таких же периодов 2020 г. $-8,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-7,7\text{ }^{\circ}\text{C}$;

- для Прикаспийского региона (Актюбинск, Уральск, Форт-Шевченко, Актау, Пешной, о. Кулалы) для периодов с АБ и без АБ для 2012 г. составляют $-16,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для 2020 г. $-9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-7,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно. Это подтверждает наличие значимого снижения февральских температур воздуха в периоды существования АБ как для мягких, так и для суровых зим. Аналогичный вывод справедлив и для других зимних месяцев.

Соответствующие тем же годам распределения февральских изотерм, соответствующих периодам с АБ и без АБ, показаны на рис. 8.

Как видно из рис. 8а, для февраля 2012 г., когда наблюдались АБ, характерно наличие затоков холодного воздуха, которые происходили на северо-востоке и северо-западе территории Казахстана, причем отмечался мощный заток холодных воздушных масс и был сформирован очаг над центральным регионом. Средние температуры воздуха были ниже $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. На юго-востоке и юго-западе наблюдаются выходы теплых воздушных масс, температуры воздуха в среднем от $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Из рис. 8б следует, что в период февраля 2012 г., в который АБ отсутствовали, наблюдалось относительно спокойное термическое поле с небольшим вторжением с севера. Минимальная температура была зафиксирована в Жезказгане $-22,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (следствие вторжения) и в Павлодаре и Усть-Каменогорске $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-19,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно (влияние отрога Сибирского антициклона).

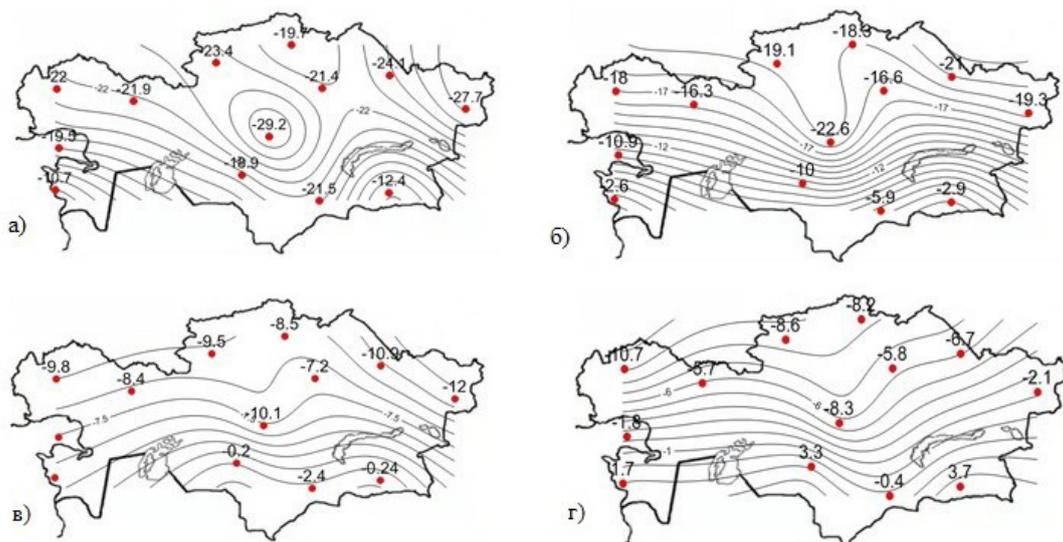


Рис. 8. Изотермы средней температуры воздуха в феврале для периодов: а) с АБ (2012 г.); б) без АБ (2012 г.); в) с АБ (2020 г.); г) без АБ (2020 г.).

Рис. 8в свидетельствует о том, что в период февраля 2020 г., в котором наблюдались АБ, влияние Сибирского антициклона было слабее; наблюдался вынос теплого воздуха с юга. Заток холодного воздуха происходил на крайнем северо-востоке, где температуры снижались до -12°C . На морских станциях Прикаспия продолжительных периодов с АБ не наблюдалось.

Рис. 8г позволяет заключить, что в 2020 г. наблюдались затоки холодного воздуха на северо-западе и севере территории Казахстана, а вынос тепла происходил с юга.

Из сравнения результатов для 2012 и 2020 г., соответствующих периодам, когда существовал АБ, можно заметить, что воздействие Сибирского антициклона было слабее, а также наблюдались выходы теплых воздушных масс с юга. В периоды отсутствия АБ преобладал Западный перенос, а повышение средней температуры воздуха наблюдается на всех станциях.

Аналогичные исследования, выполненные для прочих лет, показали, что для всех рассматриваемых пунктов территории Казахстана, при АБ изучаемой продолжительности, происходивших в зимние месяцы, среднесуточные температуры воздуха были ниже, чем при отсутствии АБ.

При увеличении минимальной продолжительности учитываемых АБ, разность средних значений среднесуточных температур воздуха за период с АБ и за период без АБ во всех изучаемых пунктах территории Казахстана в среднем увеличивалась. Максимальная разность температуры воздуха в период с АБ и без

АБ была в Восточном Казахстане - 8,1 °С, в западном (Форт-Шевченко, Актау, Пешной) от 8,1 до 8,9. А минимальная разница -1,4 °С в Петропавловске.

Таким образом, при решении второй задачи установлено, что в периоды существования АБ, соответствующие зимним месяцам, средние температуры воздуха на всех рассматриваемых станциях были ниже, чем в периоды их отсутствия. Наибольшее снижение средних температур воздуха при АБ для периода 1960-2020 гг. выявлено на территории Восточного и Западного Казахстана.

4. Обсуждение

Результаты проведенного исследования соответствуют существующим представлениям о влиянии АБ на метеоусловия в континентальных регионах Северного умеренного климатического пояса (Бухарицин и др., 2014; Мохов, 2016; Kononova, Lupo, 2020; Antokhina и др., 2018; Luo, 2016).

Новизной обладают следующие результаты:

1. Зависимости от средней долготы сектора территории Казахстана среднего значения оценок РАБ для АБ продолжительностью не менее 5, 6, 8 и 10 суток, которые соответствуют всем зимним месяцам 1960-2020 гг. и позволяют сопоставить риски возникновения в них сильных морозов и ряда других опасных метеорологических явлений, связанных с АБ.

2. Зависимости от средней долготы сектора территории Казахстана соответствующих ему значений КН РАБ для АБ продолжительностью не менее 5 суток для современного и базового климатического периода.

3. Зависимости тенденций изменения РАБ для АБ такой же продолжительности для периодов времени 1991-2020 гг., 2000-2020 гг., 2010-2020 гг.

4. Между зависимостями от средней долготы сектора соответствующих ему значений КН РАБ и КН среднемесячных температур воздуха имеет место соответствие. Участки, где наблюдается снижение КН температур и зависимости КН РАБ (l) для месяцев декабрь - февраль для базового и современного климатического периода соответствует тому, что базовый значительно выше современного.

5. Периоды продолжительных атмосферных блокингов не только уменьшились по повторяемости в последние годы, но и минимальные температуры воздуха в эти периоды стали меньше в абсолютных значениях, то есть температуры воздуха выше, чем за идентичный период блокинга за ранние годы.

5. Заключение

Таким образом, установлено, что суммарная продолжительность периодов существования атмосферных блокингов продолжительностью не менее 5 суток для тех или иных зимних месяцев в период 1960-2020 гг. максимальна в западной и восточной части территории Казахстана (Прикаспийский регион, Восточно-Казахстанская область).

Климатические нормы этой характеристики для современного климатического периода максимальны для декабря в западном и восточном Казахстане, для января - в западном, восточном и северном, а для февраля - в северном.

Максимальная средняя скорость изменения суммарной продолжительности периодов существования рассматриваемых атмосферных блокингов для декабря соответствует от 0,8 до 0,5, для января от 0,5 до 0,95, а для февраля от 0,16 до 1,8.

Максимальное значение разности климатических норм рассматриваемого показателя для декабря соответствует $-1,6$ °С в Усть-Каменогорске, для января $-2,2$ °С в Уральске, а для февраля $-3,4$ °С в Кызылорде.

Наибольшее снижение средних температур воздуха в периоды существования атмосферных блокингов, которое оценено за период 1960-2020 гг., для февраля соответствует восточному, центральному и западному регионам. Минимальная температура воздуха в Усть-Каменогорске была $-44,9$ °С, в Астане $-42,4$ °С, в Актюбинске $-39,3$ °С.

Между зависимостями от средней долготы сектора соответствующих ему значений климатических норм повторяемости изучаемых атмосферных блокингов и климатических норм среднемесячных температур воздуха имеет место соответствие. Участки, где наблюдается снижение КН температур и зависимости КН РАБ (I) для месяцев декабрь - февраль для базового и современного климатического периода соответствует тому, что базовый значительно выше современного.

Полученные результаты отвечают существующим представлениям о влиянии атмосферных блокингов на термические режимы континентальных регионов Евразии, характерных для зимних месяцев.

Перспективными направлениями дальнейших исследований в рассматриваемом научном направлении являются:

- выполнение аналогичных исследований для весенних и летних месяцев, в течение которых атмосферные блокинги способны приводить к возникновению продолжительных засух;

- проведение исследований влияния продолжительных блокингов зимой на снежный покров, выпадение осадков и повторяемости опасных явлений, таких как метели, изморози и др.

Результаты исследования могут быть применены при планировании деятельности предприятий сельского, а также коммунального хозяйства Казахстана.

Список литературы

- Бухарицин, П.И. (2019). Исследования Каспийских льдов. Palmarium Academic Publishing
- Бухарицин, П.И., Болдырев, Б.Ю., Новиков, В.И. (2014). Комплексная система гидрометеорологического обеспечения безопасности мореплавания, портов и транспортных комплексов на Каспийском море. Астрахань
- Дзерждзеевский, Б.Л. (1968). Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в XX столетии. Материалы метеорологических исследований. М.: Изд-во АН СССР и Междувед. геофиз. комитета при Президиуме АН СССР
- Дзерждзеевский, Б.Л., Курганская, В.М., Витвицкая, З.М. (1946). Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов. Л.: Гидрометеоздат
- Ежегодники по стихийным гидрометеорологическим явлениям, наблюдавшимся на территории Казахстана. Издания с 1990 по 2015 гг. Алматы: Казгидромет
- Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана. <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/ezhegodnyy-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazahstana>
- Закс Л. (1976). Статистическое оценивание. М.: Статистика
- Кожаметов, П.Ж., Кожаметова, Э.П. (2016). Экстремальные метеорологические явления в Казахстане в условиях глобального потепления климата. *Гидрометеорология и экология*, 2 (81), 7-19
- Кожаметов, П.Ж., Елеуова, К.Т., Баймагамбетов, Б.О., Жунисова, М.А. (2015). Районирование территории Казахстана по температурным воздействиям. *Гидрометеорология и экология*, 3 (78), 7-14
- Коженкова, З.П. (1976). Курс лекций по синоптическим методам прогнозов погоды.. Алма-Ата: КазГУ
- Кононова, Н.К. (2009). Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзерждзеевскому. М.: Воентехиниздат
- Мохов, И.И. (2021). Экстремальные атмосферные и гидрологические явления в российских регионах: связь с тихоокеанской десятилетней осцилляцией. *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*, Т. 500, 2, 183-188
- Мохов, И.И., Акперов, М.Г., Прокофьева, М.А., Тимажев, А.В., Лупо, А.Р., Ле Трет, Э. (2013). Блокинги в Северном полушарии и Евро-Атлантическом регионе: оценки изменений по данным реанализа и модельным расчетам. *Доклады Академии наук*, Т. 449, 5, 1-5. <https://doi.org/10.7868/s0869565213110224>
- Мохов, И.И. (2016). Атмосферные блокинги и связанные с ними климатические аномалии. Нелинейные волны. Дата обращения 10.12.2024. <https://docplayer.com/35005034-Atmosfernyye-blokingi-i-svyazannye-s-nimi-klimaticheskie-anomalii.html>
- Оценочный доклад об изменениях климата на территории Казахстана (2015). Астана: РГП «Казгидромет»

- Поднебесных, Н.В. (2020). Долговременные изменения атмосферной циркуляции над Сибирью. *Оптика атмосферы и океана*, 33, 2, 142-145. DOI:[10.15372/AOO20200209](https://doi.org/10.15372/AOO20200209).
- Статистические данные РК «Сельское, лесное и рыбное хозяйство Казахстана 2004-2008» (2009). *Статистический сборник*. Астана: Статистическое агентство РК
- Шакина, Н.П., Иванова, А.Р. (2010). Блокирующие антициклоны: современное состояние исследований и прогнозирования. *Метеорология и гидрология*, 11, 5-18
- Antokhina, O., Antokhin, P., Devyatova, E., Martynova, Y. (2018). 2004-2016 Wintertime Atmospheric Blocking Events over Western Siberia and Their Effect on Surface Temperature Anomalies. *Atmosphere*, 9(2), 72. doi:[10.3390/atmos9020072](https://doi.org/10.3390/atmos9020072)
- Bacer, S., Jomaa, F., Beaumet, J., Gallée, H., Le Bouëdec, E., Ménégoz, M., Staquet, C. (2022). Impact of climate change on wintertime European atmospheric blocking. *Weather and Climate Dynamics*, 3(1), 377-389. <https://doi.org/10.5194/wcd-3-377-2022>
- Barriopedro, D., García-Herrera, R., Lupo, A.R., Hernández, E.A. (2006). Climatology of Northern Hemisphere Blocking. *Journal of Climate*, 19, 1042-1063. <https://doi.org/10.1175/JCLI3678.1>
- Davini, P., D'Andrea, F. (2020). From CMIP3 to CMIP6: Northern Hemisphere Atmospheric Blocking Simulation in Present and Future Climate. *Journal of Climate*, 33, 10 021-10 038. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0862.1>
- Drouard, M., Woollings, T. (2018). Contrasting Mechanisms of Summer Blocking Over Western Eurasia. *Geophysical Research Letters*, 45(21), 12 040-12 048. <https://doi.org/10.1029/2018GL079894>
- IMERG: Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM. NASA. Дата обращения 10.12.2024. <https://gpm.nasa.gov/data/imerg>
- Hersbach, H., Dee, D. (2016). ERA-5 reanalysis is in production. *ECMWF Newsletter*, 147, 7
- Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S., and Thépaut, J.-N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146, 1999-2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Hoffmann, L., Günther, G., Li, D., Stein, O. et al. (2019). From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF's next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19, 3097-3124. DOI:[10.5194/acp-19-3097-2019](https://doi.org/10.5194/acp-19-3097-2019)
- Kononova, N.K., Lupo, A.R. (2020). Changes in the Dynamics of the Northern Hemisphere Atmospheric Circulation and the Relationship to Surface Temperature in the 20th and 21st Centuries. *Atmosphere*, 11(3), 255, 1-14. <https://doi.org/10.3390/atmos11030255>
- Luo, D., Xiao, Y., Yao, Y., Dai, A., Simmonds, I., Franzke, C.L.E. (2016). Impact of Ural Blocking on Winter Warm Arctic-Cold Eurasian Anomalies. Part I: Blocking-Induced Amplification. *Journal of Climate*, 29, 3925-3947. doi:[10.1175/jcli-d-15-0611.1](https://doi.org/10.1175/jcli-d-15-0611.1)
- Masato, G., Woollings, T., Hoskins, B.J. (2014). Structure and impact of atmospheric blocking over the Euro-Atlantic region in present-day and future simulations. *Geophysical Research Letters*, 41, 1051-1058. <https://doi.org/10.1002/2013GL058570>
- Mokhov, I., Timazhev, A. (2019). Atmospheric Blocking and Changes in its Frequency in the 21st Century Simulated with the Ensemble of Climate Models. *Russian Meteorology and Hydrology*, 44, 6, 369-377. <https://doi.org/10.3103/S1068373919060013>
- Petoukhov, V., Semenov, V.A. (2010). A Link between Reduced Barents-Kara Sea Ice and Cold Winter Extremes over Northern Continents. *Journal of Geophysical Research*, 115(D21). doi:[10.1029/2009jd013568](https://doi.org/10.1029/2009jd013568)
- Tyrlis, E., Manzini, E., Bader, J., Ukita, J., Nakamura, H., Matei, D. (2019). Ural Blocking Driving Extreme Arctic Sea Ice Loss, Cold Eurasia, and Stratospheric Vortex Weakening in Autumn and Early Winter 2016-2017. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 124(21), 11313-11329. doi:[10.1029/2019jd031085](https://doi.org/10.1029/2019jd031085)

Changes in atmospheric blocking recurrence and their influence on winter temperature regimes in Kazakhstan's regions during 1960-2020

Kholoptsev A.V. ^a , Naurozbaeva Zh.K. ^b 

^a N.N. Zubov State Oceanographic Institute', Sovetskaya st., 61, Sevastopol, 299011, Russia

^b JSC 'Institute of Geography and Water Security, Seyfullin av., 458/1, Almaty, 050000 Kazakhstan

Email: naurozbaeva.zhanar@mail.ru

<https://doi.org/10.29258/CAJWR/2025-R1.v11-1/1-26.rus>

ABSTRACT

The study aimed to investigate the peculiarities of spatial and temporal variability of atmospheric blocking recurrence and corresponding temperature regime variations over the territory of Kazakhstan during winter months. As inputs, the research utilized the shifts in mean hourly values of atmospheric pressure (reduced to sea level) and geopotential to 850, 500 and 300 hPa isobaric surfaces for detecting atmospheric blockings; and the observation data from Kazhydromet meteorological stations as well as other archive and electronic sources - for assessing the influence of atmospheric blockings on the thermal regime in the target Kazakhstan's regions. The study comprised designing a methodology for detecting atmospheric blockings synergizing the traditional procedures applied for the purpose and reducing the associated error probability. The research allowed not only analyzing the mean values of atmospheric blocking recurrence (duration of not less than 5-10 days) during 1960-2020, and the trends of its inter-annual dynamics at the time intervals corresponding to different phases of the current climatic cycle for different section of Kazakhstan's territory, but likewise determining the climatic normals in terms of the frequency of such blockings occurring for the modern climatic cycle, as well as their alterations against the baseline climatic period (1961-1990). In addition, the study examined the impacts of the considered atmospheric blockings on the thermal regime - characteristic for winter months - across different regions of Kazakhstan; and identified specific regions demonstrating the greatest modifications in their thermal regimes that had occurred during the periods of the atmospheric blockings in question.

ARTICLE HISTORY

Received: June 17, 2024

Accepted: December 8, 2024

Published: January 13, 2025

KEYWORDS

atmospheric blocking, severe frost, atmospheric pressure, reanalysis

References

- Antokhina, O., Antokhin, P., Devyatova, E., Martynova, Y. (2018). 2004-2016 Wintertime Atmospheric Blocking Events over Western Siberia and Their Effect on Surface Temperature Anomalies. *Atmosphere*, 9. 72. doi:10.3390/atmos9020072
- Bacer S., Jomaa F., Beaumet J., Gallée H., Le Bouëdec E., Ménégot M., Staquet C. (2021). Impact of climate change on wintertime European atmospheric blocking // *Weather and Climate Dynamics*, <https://doi.org/10.5194/wcd-2021-47>
- Barriopedro D., García-Herrera R., Lupo A. R., Hernández E. A. (2006). Climatology of Northern Hemisphere Blocking, *Journal of Climate*, 19, R. 1042-1063 <https://doi.org/10.1175/JCLI3678.1>
- Bukharitsin P.I. (2019). Issledovaniya Kaspiiskikh l'dov. [Exploration of the Caspian ice] Palmarium Academic Publishing. 122 p. (in Russian)
- Bukharitsin P.I., Boldyrev B.Yu., Novikov V.I. (2014). Kompleksnaya sistema gidrometeorologicheskogo obespecheniya bezopasnosti moreplavaniya, portov i transportnykh kompleksov na Kaspiiskom more. [Integrated system of hydrometeorological safety of navigation, ports and transport complexes in the Caspian Sea] Astrakhan' - Astrakhan. 319 p. (in Russian)
- Davini, D., D'Andrea F. (2020). From CMIP3 to CMIP6: Northern Hemisphere Atmospheric Blocking Simulation in Present and Future Climate, *Journal of Climate*, 33, 10 021-10 038, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0862.1>
- Drouard M., Woollings T. (2018). Contrasting Mechanisms of Summer Blocking Over Western Eurasia, *Geophysical Research Letters*, 45, 12,040-12,048, <https://doi.org/10.1029/2018GL079894>
- Dzerdzevskii B.L. (1968). Tsirkulyatsionnye mekhanizmy v atmosfere severnogo polushariya v XX stoletii [Circulation mechanisms in the atmosphere of the northern hemisphere in the XX century] // *Materialy meteorologicheskikh issledovaniy*, M.: Izd-vo AN SSSR i Mezhved. geofiz. komiteta pri Prezidiume AN SSSR - Materials of meteorological research, Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences and the Interdepartmental Geophysical Committee under the Presidium of the USSR Academy of Sciences. 240 p. (in Russian)
- Dzerdzevskii B.L., Kurganskaya V.M., Vitvitskaya Z.M. (1946). Tipizatsiya tsirkulyatsionnykh mekhanizmov v severnom polusharii i kharakteristika sinopticheskikh sezonov. [Typization of circulation mechanisms in the northern hemisphere and characteristics of synoptic seasons] // Tr. n.-i. uchrezhdenii Gl. upr. gidrometeorol.sluzhby pri Sovete Ministrov SSSR. Ser. 2. *Sinopticheskaya meteorologiya*. Vyp. 21. L.: Gidrometizdat - Proc. scientific-industrial institution of the Main Administration of the Hydrometeorological Service under the Council of Ministers of the USSR. Series 2. Synoptic meteorology. Issue 21. L.: Gidrometizdat, 80 p. (in Russian)
- Ezhegodniki po stikhiinym gidrometeorologicheskim yavleniyam, nablyudavshimsya na territorii Kazakhstana [Yearbooks on natural hydrometeorological phenomena observed on the territory of Kazakhstan] // *Izdaniya s 1990 po 2015 gg. RGP «Kazgidromet»*, g. Almaty - Editions from 1990 to 2015. RSE "Kazhydromet", Almaty. (in Russian)
- Ezhegodnyi byulleten' monitoringa sostoyaniya i izmeneniya klimata Kazakhstana. [Annual bulletin of monitoring of the state and climate change of Kazakhstan] <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/ezhegodnyy-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazahstana> (in Russian)
- Hersbach H., Dee D. 2016. ERA5 reanalysis is in production // *ECMWF Newsletter*. Vol. 147. P. 7.
- Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S., and Thépaut, J.-N. (2020). The ERA5 global reanalysis, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146. R. 1999-2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Hoffmann L., Günther G., Li D., Stein O. et al. (2019). From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF's next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations // *Atm. Chem. Phys.* Vol. 19. P. 3097-3124.
- IMERG: Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM | NASA <https://gpm.nasa.gov/data/imerg>

- Kononova N.K. (2009). Klassifikatsiya tsirkulyatsionnykh mekhanizmov Severnogo polushariya po B.L. Dzerdzeevskomu [Classification of circulation mechanisms of the Northern Hemisphere according to B.L. Dzerdzeevsky] / otv. red. A.B. Shmakin; Rossiiskaya akad. nauk, In-t geografii. M.: Voentekhnizdat - ed. A.V. Shmakin; Russian Academy of Sciences, Institute of Geography, Moscow: Voentekhnizdat, 372 p. (in Russian)
- Kononova N. K., Lupo A. R. (2020). Changes in the Dynamics of the Northern Hemisphere Atmospheric Circulation and the Relationship to Surface Temperature in the 20th and 21st Centuries // *Atmosphere*. 11(3). 255; <https://doi.org/10.3390/atmos11030255>
- Kozhakhmetov P.Zh., Kozhakhmetova E.P. (2016). Ekstremal'nye meteorologicheskie yavleniya v Kazakhstane v usloviyakh global'nogo potepleniya klimata. [Extreme meteorological phenomena in Kazakhstan in the context of global warming] // *Nauchno-tekhnicheskii zhurnal «Gidrometeorologiya i ekologiya»* - Scientific and technical journal "Hydrometeorology and Ecology". № 2 (81). p. 7-19 (in Russian)
- Kozhakhmetov P.Zh., Eleuova K.T., Baimagambetov B.O., Zhunisova M.A. (2015). Raionirovanie territorii Kazakhstana po temperaturnym vozdeistviya. [Zoning of the territory of Kazakhstan according to temperature effects] // *Nauchno-tekhnicheskii zhurnal «Gidrometeorologiya i ekologiya»* - Scientific and technical journal "Hydrometeorology and Ecology". № 3 (78). p. 7-14 (in Russian)
- Kozhenkova Z.P. (1976). Kurs lektsii po sinopticheskim metodam prognozov pogody. [Course of lectures on synoptic methods of weather forecasts] *KazGU im. Kirova*. Alma-ata - KazGU named after Kirov. Almaty, 126 p. (in Russian)
- Luo D., Xiao Y., Yao Y., Dai A., Simmonds I., Franzke C.L.E. (2016). Impact of Ural Blocking on Winter Warm Arctic-Cold Eurasian Anomalies. Part I: Blocking-Induced Amplification. *Journal of Climate*, 29. 3925-3947. doi:10.1175/jcli-d-15-0611.1
- Masato, G., Woollings, T., Hoskins B. J. (2014). Structure and impact of atmospheric blocking over the Euro-Atlantic region in present-day and future simulations, *Geophysical Research Letters*. 41. R. 1051-1058. <https://doi.org/10.1002/2013GL058570>
- Mokhov I.I. (2021). Ekstremal'nye atmosferye i gidrologicheskie yavleniya v rossiiskikh regionakh: svyaz' s tikhookeanskoj desyatiletnei ostsillyatsiei [Extreme Atmospheric and Hydrological Phenomena in the Russian Regions: Connection with the Pacific Decadal Oscillation] // *Doklady Rossiiskoi akademii nauk. Nauki o Zemle* - Reports of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences. T. 500. № 2. p. 183-188 (in Russian)
- Mokhov I. I., Akperov M. G., Prokof'eva M. A., Timazhev A.V., Lupo A.R., Le Tret E. (2013). Blokingi v severnom polusharii i evroatlanticheskom regione: otsenki izmenenii po dannym reanaliza i model'nym raschetam [Blockings in the Northern Hemisphere and the Euro-Atlantic Region: Estimates of Changes Based on Reanalysis and model calculations] // *doklady akademii nauk* - reports of the academy of sciences, T. 449. № 5. p. 1-5 (in Russian)
- Mokhov I. I. (2016). Atmosferye blokingi i svyazannye s nimi klimaticheskie anomalii. [Atmospheric blockings and related climatic anomalies. Nelinejnye volny- Nonlinear waves] <https://docplayer.com/35005034-Atmosferye-blokingi-i-svyazannye-s-nimi-klimaticheskie-anomalii.html> (in Russian)
- Mokhov I., Timazhev A. (2019). Atmospheric Blocking and Changes in its Frequency in the 21st Century Simulated with the Ensemble of Climate Models, *Russ. Meteorol. Hydrol*, p. 369-377. <https://doi.org/10.3103/S1068373919060013>
- Otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata na territorii Kazakhstana. [Assessment report on climate change in Kazakhstan] 2015. Astana: RGP «Kazgidromet» - Astana: RSE "Kazhydromet, 55 p. (in Russian)
- Podnebesnykh N.V. (2020). Dolgovremennyye izmeneniya atmosfernoj tsirkulyatsii nad Sibir'yu. [Long-term changes in atmospheric circulation over Siberia] // *Optika atmosfery i okeana* - Optics of the atmosphere and ocean. T. 33. № 02. p. 142-145. DOI: [10.15372/AO020200209](https://doi.org/10.15372/AO020200209). (in Russian)

- Petoukhov V., Semenov V.A. (2010). A Link between Reduced Barents-Kara Sea Ice and Cold Winter Extremes over Northern Continents. *Journal of Geophysical Research*, 115. doi:[10.1029/2009jd013568](https://doi.org/10.1029/2009jd013568)
- Shakina N.P., Ivanova A.R. 2010. Blokiruyushchie antitsiklony: sovremennoe sostoyanie issledovaniy i prognozirovaniya [Blocking anticyclones: current state of research and forecasting] // *Meteorologiya i gidrologiya - Meteorology and hydrology*. № 11. p. 5-18. (in Russian)
- Statisticheskie dannye RK s/kh «Sel'skoe, lesnoe i rybnoe khozyaistvo Kazakhstana 2004-2008», [Statistical data of the Republic of Kazakhstan with "Agriculture, forestry and fisheries in Kazakhstan 2004-2008"] / *Statisticheskii sbornik - Statistical collection*. - Astana 2009, Statisticheskoe agentstvo RK. (in Russian)
- Tyrlis E., Manzini E., Bader J., Ukita J., Nakamura H., Matei D. (2019). Ural Blocking Driving Extreme Arctic Sea Ice Loss, Cold Eurasia, and Stratospheric Vortex Weakening in Autumn and Early Winter 2016-2017. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124. 11313-11329. doi:[10.1029/2019jd031085](https://doi.org/10.1029/2019jd031085)
- Zaks L. (1976). Statisticheskoe otsenivanie. [Statistical estimation]M.: Statistika - Statistics, 598 p. (in Russian)