УДК 551. 464:543.30

ОЦЕНКА СУММАРНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ АРКТИЧЕСКИХ ВТОРЖЕНИЙ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА NCEP/NCAR ТЕМПЕРАТУРЫ И АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

Холопцев А. В.^{1, 2}, Подпорин С. А.², Момот М. В.²

¹Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова», Севастополь, Российская Федерация

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Российская Федерация

E-mail: kholoptsev@mail.ru, SAPodporin@sevsu.ru

Предложена методика выявления арктических вторжений по данным реанализа NCEP/NCAR среднесуточных значений температуры воздуха на абсолютной высоте геопотенциала 1000 гПа, а также приведенного к уровню Мирового океана атмосферного давления. Показана возможность ее применения при оценке суммарных продолжительностей данных процессов, возникавших над Атлантическим океаном в различные годы и месяцы периода 1948–2017 гг.

Ключевые слова: арктические вторжения, методика обнаружения, повторяемость, Атлантический океан, температура воздуха, атмосферное давление

введение

Арктические вторжения (далее ВАВ) – это быстрые течения холодного и сухого воздуха из высоких широт Северного полушария, которые переносят его в умеренные и субтропические широты. Так как подобный воздух является весьма плотным, на всех участках земной поверхности, над которыми он проходит, повышается атмосферное давление (Рат) и снижается температура воздуха (Тв). Вследствие указанных особенностей ВАВ существенно влияют на гидрометеорологические условия и состояние экосистем во многих внетропических регионах мира.

Влияние ВАВ на погоду в умеренных и субтропических широтах сказывается тем сильней, чем больше суммарная продолжительность (СП) периодов их существования в некотором году либо месяце. Значения данных показателей в том или ином регионе необходимо учитывать при планировании функционирования и развития многих секторов его экономики, в том числе и транспортного комплекса. Поэтому оценка их современных значений и выявление тенденций их изменения является актуальной проблемой физической географии, океанографии, метеорологии, а также эксплуатации транспортных комплексов.

Наибольший теоретический и практический интерес решение данной проблемы представляет для регионов, по которым проходят трансокеанские коммуникации с высоким трафиком движения судов. Одним из них является Атлантический океан, через Северную часть которого проходит водный путь с рекордно высоким трафиком, который соединяет порты Западной Европы и порты восточного побережья США.

ОЦЕНКА СУММАРНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ АРКТИЧЕСКИХ ВТОРЖЕНИЙ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА...

Граница Атлантики и Северного Ледовитого океана проходит по восточному входу Гудзонова пролива и по параллели 65° с.ш. пересекает Девисов пролив. Далее она следует по побережью острова Гренландия до мыса Брустер, потом через Датский пролив до мыса Рейдинупюр на острове Исландия, по его побережью до мыса Герпир, затем к Фарерским островам, далее к Шетландским островам и по 61° с.ш. до побережья Скандинавского полуострова [1]. Поэтому за северную границу рассматриваемого региона может быть принята параллель 65° с.ш.

Учитывая характерное расположение Азорского максимума, за южную границу Северной Атлантики в данной работе принята параллель 40° с.ш., несколько севернее которой расположен крупнейший порт восточного побережья США – Нью-Йорк. Ее западной и восточной границами целесообразно считать меридианы 75° з.д. и 0° соответственно.

Основной причиной недостаточной изученности характеристик ВАВ в любых регионах мира, в том числе и в Северной Атлантике, является несовершенство методик, применяемых для обнаружения этих процессов. Все существующие методики их обнаружения основаны на выявлении барических неоднородностей, которые являются следствием образования ВАВ и представляют собой полосы повышенного P_{ar} [2–5]. Для их выявления анализируются срочные или суточные карты погоды, либо результаты соответствующих реанализов P_{ar}.

Подобные источники содержат информацию, которая позволяет выявлять упомянутые полосы повышенного P_{ar}, а значит и ВАВ, в любом регионе мира. Такая информация относится к любым датам, которые соответствуют, как минимум, нескольким последним десятилетиям.

Вместе с тем, иногда аналогичные барические неоднородности могут возникать и по причинам, не связанным с ВАВ. В результате этого все упомянутые методики способны принимать решения о наличии ВАВ и в случаях, когда действуют совсем другие процессы [6].

Указанная проблема могла бы быть в значительной мере решена, если бы методика обнаружения учитывала и другой устойчивый информативный признак ВАВ – возникающее при этом процессе снижение Т_в, которое происходит в пределах той же полосы повышенного Р_{ат}. Информация о среднесуточных значениях данного показателя также представлена в соответствующих реанализах.

Тем не менее, методик, в которых для обнаружения изучаемых процессов применялась бы информация об обоих признаках ВАВ, не предложено. В результате этого, имеющиеся оценки СП ВАВ над различными регионами мира являются весьма неточными. Это существенно осложняет моделирование и прогнозирование изменений данных показателей, а также их учет при управлении транспортными комплексами данного региона.

Целью данной работы является оценка современных значений и тенденций изменчивости СП ВАВ над различными секторами Северной Атлантики, полученных при совместном использовании данных реанализов NCEP/NCAR P_{at} и T_в.

Для ее достижения решены следующие задачи:

1. Разработка и тестирование методики обнаружения ВАВ по результатам реанализов NCEP/NCAR как Рат, так и Тв.

2. Изучение особенностей применения разработанной методики при оценке современных тенденций изменения СП ВАВ над различными секторами Северной Атлантики.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для достижения указанной цели как фактический материал использованы результаты реанализов NCEP/NCAR среднесуточных значений приведенного к уровню моря P_{ar} [7], а также T_{B} [8] на абсолютной высоте геопотенциала 100 гПа. В указанных реанализах информация о значениях данных показателей представлена за период с 1.01.1948 по 31.12.2017 гг. для всех пунктов земной поверхности, которые соответствуют узлам координатной сетки с шагом 2,5°x2,5°.

Методика обнаружения ВАВ, основанная на выявлении на картах погоды областей повышенного Р_{ат}, разработана Б.Л. Дзердзеевским, а также учеными его школы [3, 4]. В соответствии с ней, решение об обнаружении ВАВ принимается, если всюду в пределах полосы повышенного Р_{ат}, которая соединяет Арктический и некоторый Субтропический антициклон, значения данного показателя превышают уровень 1015 гПа.

Указанный уровень значимости выбран эмпирически, а также потому, что соответствующую изобару принято всегда отображать на картах погоды для Северного полушария. Благодаря последнему, для реализации данной методики компьютерные расчеты не требуются, что позволяло применять ее в период, когда компьютеров еще не было. Она и ныне находит широкое применение при изучении макроциркуляционных процессов в земной атмосфере [9], несмотря на наличие некоторых недостатков.

Один из них состоит в повышенной вероятности ошибок. Значения P_{ar}, которые при ВАВ всегда повышаются, уровня 1015 гПа иногда могут и не достигать, что при использовании данной методики приводит к их пропускам.

Другой тип ошибок – ложные тревоги – может возникать потому, что превышение указанного уровня P_{ат} может иметь место и по другим причинам. Так, пропуски всегда образуются, если ВАВ пересекают глубокие барические депрессии, подобные Исландскому минимуму. Ложные тревоги также вероятны при обнаружении ВАВ, которые образуются зимой над Сибирью или Канадой.

Так как, в соответствии с рассматриваемой методикой, анализ синоптических карт осуществляется «вручную», при ее реализации могут возникать и «антропогенные» ошибки. Последние можно было бы полностью исключить, сохранив неизменным алгоритм принятия решения, но применив в качестве фактического материала не карты погоды, а реанализ P_{ar}, а также автоматизировать процедуру. Последнее далеко не просто, поскольку связанные с ВАВ области повышенного P_{ar}, которые разделяют упомянутые антициклоны, представляют

ОЦЕНКА СУММАРНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ АРКТИЧЕСКИХ ВТОРЖЕНИЙ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА...

собой полосы весьма разнообразной конфигурации. Для автоматического принятия решения о существовании полосы, соединяющей Арктический и Субтропический антициклон необходимо проверить все возможные варианты ее конфигураций (осуществив их полный перебор). Последнее существенно усложняет алгоритм принятия решения и увеличивает затраты машинного времени на его реализацию. Тем не менее, подобное усложнение алгоритма выявления таких полос не позволяет снизить вероятности пропусков и ложных тревог, которые могут оказаться неприемлемо высокими.

Для выявления ВАВ может быть также применена аналогичная по сути методика [2, 4], которая основана на предположении, что в каждом пункте той же полосы повышенного P_{at} значения данного показателя превышают его средний уровень в те же сутки, рассчитанный по всем пунктам, расположенным на той же параллели. Упомянутая процедура позволяет ощутимо снизить вероятности пропусков и ложных тревог, вследствие чего она обеспечивает более высокую точность оценок СП ВАВ. Она позволяет обнаруживать ВАВ, пересекающие глубокие барические депрессии, и потому более эффективна для Атлантического и Тихого океанов. Тем не менее, и при ее реализации ошибки оценок СП ВАВ могут быть слишком высокими, поскольку предположение, но котором основана методика, является «искусственным».

В действительности, повышенные при ВАВ значения P_{at} отнюдь не всегда и не везде превышают средний уровень данного показателя, который рассчитан для тех же суток, по всем пунктам, расположенным на той же параллели. Значения P_{at} могут превышать соответствующий средний уровень и по иным причинам. Следовательно, и пропуски, и ложные тревоги при реализации подобной методики вполне возможны.

Не удается их снизить и применив вариант той же методики, в котором вместо Р_{ат} анализируются абсолютные высоты (ha_p) некоторых значений его геопотенциала, которые повышены там и тогда, где и когда повышено Р_{ат}.

Методика выявления рассматриваемых процессов, позволяющая существенно снизить вероятности подобных ошибок, предложена в работе [5]. Она основана на том, что на участке земной поверхности, где проходит ВАВ, в каждые сутки из отрезка времени, когда происходит данное явление, Р_{ат} всегда больше, чем перед его началом.

Принято допущение, согласно которому минимальная продолжительность ВАВ составляет 3 суток. Поэтому при обнаружении ВАВ в скользящем окне заданной длительности для каждого узла координатной сетки (λ , φ), относящегося к рассматриваемому региону, определяется значения показателя:

$$\Delta P = \Delta P_a(\lambda, \varphi, t) \cdot \Delta P_a(\lambda, \varphi, t+1) \cdot \Delta P_a(\lambda, \varphi, t+2), \tag{1}$$

где $\Delta P_a(\lambda, \varphi, t+\tau) = P_{am}(\lambda, \varphi, t+\tau) - P_{am}(\lambda, \varphi, t-1); \lambda$ – долгота (°); φ – широта (°); t – дата начала скользящего окна, где обнаруживается ВАВ; τ – сдвиг по времени в пределах периода ВАВ (τ =1, 2, 3...)

Предполагается также, что максимальная продолжительность учитываемых ВАВ может составлять 10 суток.

При обнаружении производится полный перебор всех значений длин скользящего окна в пределах от 3 до 10 суток.

Вычисленное для каждого скользящего окна значение ΔP сравнивается с пороговым уровнем. Анализ законов распределения рассматриваемого показателя в случаях, кода существуют ВАВ, а также когда они отсутствуют, показал, что в качестве такого уровня может быть принят уровень 0 гПа.

Решение об обнаружении ВАВ в рассматриваемом скользящем окне принимается, если значения ΔP являются положительными для всех φ из интервала (40–65° с.ш.).

Очевидно, что обнаружение может произойти лишь в случае, когда длина применяемого скользящего окна не превышает фактическую длительность ВАВ. Поэтому при оценке периодов времени, в которые существовали обнаруженные ВАВ, среди всех длин скользящих окон, где они выявлены, учитывались наибольшие.

Подобная методика позволяет выявлять ВАВ, в которых на всех параллелях из указанного интервала широт ΔP являлось положительным для всех рассматриваемых φ .

Нетрудно видеть, что изложенная методика не позволяет обнаруживать ВАВ, которые распространяются под крутыми углами к меридиану, и при этом имеют малую ширину фронта F. Поскольку подобные случаи не только редки, но и оказывают наименьшее влияние на гидрометеорологические риски, можно предположить, что данный недостаток не существенно влияет на достоверность получаемых результатов.

Гораздо существеннее снижает ее эффективность принятое допущение, так как расположения рассматриваемых полос повышенного P_{ar} в разные сутки периода существования ВАВ могут несколько различаться. В результате наличия подобных смещений по долготе для какой-либо параллели из рассматриваемого диапазона может оказаться ΔP =0. Как результат, соответствующее ВАВ будет пропущено. Кроме того, ВАВ, значимо влияющие на безопасность мореплавания, могут существовать и менее 3 суток. Следовательно, и рассматриваемая методика отнюдь не совершенна.

Учитывая достоинства и недостатки рассмотренных методик, а также упомянутые выше свойства ВАВ, для их обнаружения разработана методика, в основу которой какие-либо искусственные допущения о свойствах данных процессов не закладывались. В соответствии с ней решение об обнаружении ВАВ принималось, если для всех параллелей в диапазоне 40–65° с.ш. в рассматриваемые сутки положительным являлось значение ΔPT , определяемое соотношение:

$$\Delta PT = \Delta P_a(\lambda, \varphi, t) \cdot \Delta T_b(\lambda, \varphi, t), \tag{2}$$

где $\Delta P_a(\lambda, \varphi, t) = P_{am}(\lambda, \varphi, t) - P_{am}(\lambda, \varphi, t-1); \Delta T_s(\lambda, \varphi, t) = T_s(\lambda, \varphi, t+\tau) - T_s(\lambda, \varphi, t-1);$

а прочие обозначения имеют тот же смысл, что и в формуле (1).

С использованием данной методики, а также метода триангуляции Делоне [10, 11] построены карты, отображающие расположение в каждые сутки рассматриваемого периода участков земной поверхности, где $\Delta P_a(\lambda, \varphi, t) > 0$ и $\Delta T_e(\lambda, \varphi, t) < 0$. В качестве примера, на Рис. 1 представлено расположение участков земной поверхности, где:

> $P_{am}(\lambda, \varphi, 27.03.2010) > P_{am}(\lambda, \varphi, 26.03.2010)$ и $T_{e}(\lambda, \varphi, 27.03.2010 \text{ г.}) < T_{e}(\lambda, \varphi, 26.03.2010 \text{ г.}).$

Из рисунка 1А видно, что 27.03.2010 в Северном полушарии между параллелями 65–40° с.ш. существовали две полосы, в пределах которых:

 $P_{am}(\lambda, \varphi, 27.03.2010) > P_{am}(\lambda, \varphi, 26.03.2010);$

$$T_{e}(\lambda, \varphi, 27.03.2010) < T_{e}(\lambda, \varphi, 26.03.2010).$$

Одна из них располагается в Атлантическом секторе (60°з.д.–0), а на юге заходит в Европейский сектор (0–60°в.д.). Она проходит от Шпицбергена, непосредственно через Исландский минимум и до средиземноморского побережья Франции. Вторая полоса располагается в Дальневосточном секторе (120°–170°в.д), практически по меридиану 150° в.д.

Кроме указанных полос существуют еще три, которые на севере начинаются на параллели 60° с.ш. Первые две из них расположены в Атлантическом и Американском секторе (60–120°з.д.) и достигают на юге параллели 12,5° с.ш. Третья расположена в Сибирском секторе (60–120°в.д.) и является трансэкваториальной. В этом же секторе Южного полушария, между параллелью 60° ю.ш. и экватором, существует полоса с такими же свойствами.

Анализ карты, отображающей расположения участков, где

$$\begin{split} P_{am}(\lambda, \ \varphi, \ 26.03.2010) &> P_{am}(\lambda, \ \varphi, \ 25.03.2010); \\ T_{e}(\lambda, \ \varphi, \ 26.03.2010) &< T_{e}(\lambda, \ \varphi, \ 25.03.2010), \end{split}$$

показал, что ни одной из указанных полос на ней нет.



Рис. 1. Расположение участков земной поверхности, где: А) $P_{am}(\lambda, \varphi, 27.03.2010) > P_{am}(\lambda, \varphi, 26.03.2010),$ $T_e(\lambda, \varphi, 27.03.2010) < T_e(\lambda, \varphi, 26.03.2010);$ Б) $P_{at}(\lambda, \varphi, 28.03.2010) > P_{am}(\lambda, \varphi, 27.03.2010),$ $T_e(\lambda, \varphi, 28.03.2010) < T_e(\lambda, \varphi, 26.03.2010).$

В Атлантическом секторе на данной карте отображена область, где Р_{ат} и Т_в обладали указанными выше свойствами, которая достигала на юге широты 57,5° с.ш., и с каким-либо Субтропическим антициклоном связана не была. В Дальневосточном секторе антициклон над Новосибирскими островами с Монгольским антициклоном также не соединялся.

Рисунок 1Б показывает, что 28.03.2010 рассмотренные процессы продолжили свое развитие. Конфигурации всех полос, отображенных на рисунке 1А, на следующие сутки несколько изменились (они расширились), хотя их расположения заметных перемен не претерпели.

Существование подобных полос соответствует представлениям о ячейках Хэдли, по которым воздух с повышенной плотностью от Субтропических антициклонов мигрирует к экватору [6, 12].

Хотя конкретный механизм, приводящий к их возникновению, нуждается в дополнительном изучении, выявленные особенности позволяют допустить возможность интерпретации данных термобарических неоднородностей, как ВАВ.

Поскольку для выявления рассматриваемых полос использованы результаты реанализа [7, 8], для оценки адекватности подобного допущения ее необходимо подтвердить результатами фактических наблюдений.

Для получения подобного подтверждения осуществлялось тестирование предложенной методики. При этом были использованы результаты режимных наблюдений за изменениями P_{ar} и T_{B} на следующих метеостанциях Крыма: Черноморское; Евпатория; Севастополь; Херсонесский маяк; Ялта; Алушта; Феодосия; Керчь; Опасное; Мысовое. За весь период наблюдений за P_{ar} и T_{B} на той или иной метеостанции, для нее оценивалась частота (P_{no}) следующего события: в течение каждых суток, для которых в соответствии с рассматриваемой методикой выявлено проходящее над ней ВАВ, ею зафиксированы оба местных признака данного процесса (повышение P_{ar} и снижение T_{B}).

Упомянутая информация за весь период функционирования каждой станции получена из архива Севастопольского отделения ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова». Аналогичному тестированию подвергнуты и прочие рассматриваемые методики.

Результаты тестирования предложенной методики в сравнении с методикой [5] представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что за исключением метеостанции Евпатория, значения P_{no} местных признаков ВАВ на учитываемых метеостанциях Крыма в периоды, для которых по предложенной методике (А) обнаружены достигающие их ВАВ, были не ниже, чем по методике [5] и превосходили уровни, соответствующие [2, 4]. Следует отметить, что и для метеостанции Евпатория значение P_{no} достаточно велико. Информация о значениях P_{ar} и T_{B} для некоторых метеостанций имеется не для всех периодов, в которые произошло обнаружение над ними ВАВ. Поэтому различна и длина рядов, по которым оценены соответствующие им частоты (а, следовательно, и погрешности этих оценок).

Таблица 1.

	Методика				Методика		
Метеостанция	[2, 4]	[5]	Α	Метеостанция	[2, 4]	[5]	Α
Черноморское	0,73	0,92	0,95	Ялта	0,75	0,88	0,92
Евпатория	0,77	0,96	0,93	Алушта	0,74	0,9	0,95
Севастополь	0,68	0,93	0,96	Феодосия	0,76	0,86	0,90
Херсонесский	0,69	0,95	0,95	Керчь	0,72	0,89	0,93
маяк							
Мысовое	0,72	0,93	0,94	Опасное	0,70	0,95	0,95

Частоты проявления местных признаков ВАВ на учитываемых метеостанциях Крыма в периоды, для которых по предложенной методике (А), а также методикам [5] и [2, 4] обнаружены достигающие их ВАВ

Тем не менее, из таблицы 1 следует, что в те периоды, когда эти наблюдения проводились, учитываемые местные признаки ВАВ на всех метеостанциях, как правило, выявлялись с высокой вероятностью.

В любые другие даты аналогичных совпадений по обоим показателям одновременно на всех учитываемых метеостанциях за рассматриваемый период не выявлено. Из этого следует, что процессы, которые обнаруживаются с использованием предложенной методики, действительно могут быть идентифицированы как ВАВ.

Результат тестирования разработанной методики свидетельствует о том, что в данном регионе она не только не уступает по эффективности обнаружения ВАВ сопоставляемым с нею методикам, но в ряде случаев ощутимо превосходит их. Учитывая особенности этой методики, представляется вероятным, что подобное соотношение между эффективностями рассматриваемых методик обнаружения ВАВ может иметь место и для других регионов, в том числе и Северной Атлантики. Поэтому при решении второй задачи для обнаружения ВАВ применена разработанная методика.

В результате решения второй задачи с использованием предложенной методики выявлены все ВАВ, происходившие над Северной Атлантикой в период с 1.01.1948 по 31.12.2017. Для каждого из них определены даты и диапазон долгот, в котором оно происходило. При подсчете СП для того или иного сектора Атлантики шириной 2,5° учтены все происходившие над ним ВАВ, даты которых большей частью приходятся на рассматриваемый временной интервал. Из полученных таким образом оценок годовых и месячных СП ВАВ для различных секторов Атлантики сформированы соответствующие временные ряды. С использованием данной информации выявлены зависимости от средней долготы (λ) каждого такого сектора СП ВАВ (t, λ) для каждого месяца и за год в целом за 1948–1982 гг. и 1983–2017 гг.

В качестве примера на рис. 2 приведены зависимости от средней долготы (λ)

сектора средних значений СП ВАВ (λ) за год в целом и для некоторых месяцев, вычисленные за 1948–1982 гг. и 1983–2017 гг.

Из рисунка 2А видно, что зависимости от λ годовых СП ВАВ, усредненных за оба рассматриваемых периода, представляют собой сложные колебания, в которых присутствуют возрастающие тренды. При этом в них могут быть выделены четыре участка. Первый, которому соответствуют λ в интервале (75°–52,5°з.д.), вмещает один период моды этого колебания с периодом 22,5°. Второму, содержащему второй период этого колебания, соответствуют λ в интервале (52,5°–32,5°з.д.) Третий участок соответствуют интервалу λ (32,5°–12,5°з.д.), а четвертый – его интервалу (12,5°з.д.–0).

Нетрудно видеть, что амплитуда моды с периодом 22,5° достигает абсолютного максимума на втором, а минимума – на третьем участке. На всем первом и практически всем втором участке рассматриваемой зависимости средние значения годовых СП ВАВ, вычисленные за период 1948–1982 гг., превышают их уровни, соответствующие периоду 1983–2017 гг., что свидетельствует о том, что в современном периоде гидрометеорологические условия на них усложнились. На первой половине третьего участка, соответствующего морю Ирмингера, их уровни, соответствующие периоду 1983–2017 гг., выше, чем для периода 1948–1982 гг., а гидрометеорологические условия в среднем улучшились. На второй половине этого участка имеет место обратное.

Практически на всем четвертом участке средние значения рассматриваемых показателей, вычисленные за период 1948–1982 гг., превышают их уровни, соответствующие периоду 1983–2017 гг.

Зависимости от λ средних значений месячных СП ВАВ отчасти повторяют особенности, выявленные для их годовых значений.

Из рисунка 2Б следует, что для обоих периодов времени январские зависимости СП ВАВ (λ) также представляют собой сложные колебания, наложенные на соответствующие возрастающие тренды. Расположения максимумов и минимумов этих зависимостей отличаются от соответствующих особенностей рисунка 2А, тем не менее, знаки различий средних значений данных показателей для периодов времени 1948–1982 гг. и 1983–2017 гг. на тех же участках 1–4 сохраняются такими же. Аналогичные особенности в той или иной мере проявляются и в прочие месяцы, в отличие от июля. О последнем свидетельствует рисунок 2В, где отображены июльские зависимости средних значений СП ВАВ (λ), которые вычислены за те же периоды времени. Упомянутые зависимости для обоих периодов времени, обладают элементами симметрии относительно меридиана 45°3.д., проходящего через южную оконечность острова Гренландия. Для периода 1948–1982 гг. на этот меридиан приходится абсолютный максимум значений рассматриваемого показателя, а для периода 1983–2013 гг. – второй по величине ее максимум.



Рис. 2. Зависимости от средней долготы (λ) сектора средних значений СП ВАВ (λ) за год в целом и для некоторых месяцев, вычисленные за 1948–1982 гг. и 1983–2017 гг.: А) за год, Б) январь, В) июль



Из сравнения с рисунками 2А и 2Б видно, что знаки различий средних значений данного показателя для периодов времени 1948–1982 гг. и 1983–2017 гг. на тех же участках 1–4 в июле сменяются на противоположные.

Существенные особенности свойственны также их зависимостям от времени. В качестве примера, на рис. 3 приведены зависимости от времени начала скользящего окна длиной 10 лет усредненных по нему средних годовых СП ВАВ (t) для каждого из указанных долготных диапазонов.

Из рис. 3 следует, что все представленные на нем зависимости от времени начала скользящего окна длиной 10 лет усредненных по нему средних годовых СП ВАВ (t) представляют собой сложные колебания с периодами от 2 лет и более.

В зависимости, соответствующей диапазону долгот (75°–52,5° з.д.), присутствует один максимум, соответствующий десятилетиям, которые начинаются с 1968 до 1977 гг. В период после 1977 г., в том числе – в XXI веке, в изменениях рассматриваемого показателя присутствует убывающий тренд. Поскольку уменьшение СП ВАВ, как правило, сопровождается увеличением СП циклонов, а, значит, и связанной с ними штормовой погоды, из этого следует, что гидрометеорологические условия работы судов на маршрутах, пролегающих непосредственно вдоль восточного побережья Северной Америки, в период после 1988 г. усложнялись.

Зависимость, полученная для диапазона долгот (52,5–42,5°з.д.) содержит 3 максимума, которые соответствуют 1951–1959 гг., 1970–1983 гг. и 1998–2007 гг. На протяжении всего периода 1948–2017 гг. в изменениях средних годовых СП ВАВ (t) для данного долготного диапазона наблюдается тенденция к увеличению их среднего уровня. Последнее указывает на то, что на участках трансатлантических маршрутов, которые соответствуют морю Лабрадор, гидрометеорологические условия работы судов становились в среднем более комфортными.

В изучаемой зависимости, которая соответствует сектору (42,5–12,5°з.д. – участки водных путей, проходящих через море Ирмингера и акватории Атлантики, расположенные южнее острова Исландия) также присутствуют 3 максимума. Они приходятся на 1953–1960, 1970–1979 и 2004–2006 гг. Средний уровень данной зависимости больше, чем для зависимостей, соответствующих секторам, рассмотренным выше. В период после 1974 г., в том числе – в XXI веке, в изменениях рассматриваемого показателя присутствует убывающий тренд. Из этого следует, что гидрометеорологические условия здесь усложняются.

Для сектора Атлантики (12,5°з.д.–0), который непосредственно прилегает к западным побережьям Европы, в рассматриваемой зависимости на протяжении всего анализируемого периода присутствует убывающий тренд, что указывает на усложнение условий работы здесь водного транспорта.



Холопцев А. В., Подпорин С. А., Момот М. В.

Рис. 3. Зависимости от времени начала скользящего окна длиной 10 лет усредненных по нему средних годовых СП ВАВ (t) для долготных диапазонов, относящихся к частям акватории Северной Атлантики: А) Западная; Б) Восточная

Учитывая периоды существования всех выявленных ВАВ, для различных месяцев вычислены значения угловых коэффициентов линейных трендов временных рядов месячных СП ВАВ, которые соответствуют тем же секторам Северной Атлантики и временному интервалу 2000–2017 гг. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Значения угловых коэффициентов линейных трендов временных рядов месячных СП ВАВ для различных секторов Северной Атлантики и периода времени с 2000 по 2017 гг.

2000–2017 гг.						
Сектора	75–52,5°з.д.	52,5–42,5°з.д.	42,5–12,5°з.д.	12,5°з.д.– 0		
Январь	0,0023	0,0103	0,0257	0,0021		
Февраль	0,0085	0,0134	-0,0139	-0,0003		
Март	-0,0402	0,0077	-0,0126	-0,0437		
Апрель	-0,0191	-0,0325	-0,0229	-0,0045		
Май	0,0165	0,0475	-0,0057	-0,0052		
Июнь	-0,0082	-0,0335	-0,0199	-0,0127		
Июль	-0,0106	0,0165	0,0329	0,0155		
Август	0,0044	-0,0119	-0,0326	0,0007		
Сентябрь	0,0132	0,0508	0,0103	-0,0151		
Октябрь	-0,0044	-0,0387	-0,0302	0,0079		
Ноябрь	0,0001	-0,0449	0,0087	0,0409		
Декабрь	0,0229	0,02554	0,0129	0,0065		
Год	-0,01471	0,01032	-0,0472	-0,0079		

Из таблицы 2 следует, что в XXI веке значимые тенденции к уменьшению месячных СП ВАВ в секторе Северной Атлантики (75–52,5°з.д.), прилегающем к восточному побережью Северной Америки, выявлены в марте, апреле, июле, а также в среднем за год. Значимые противоположные тенденции выявлены в мае, сентябре и декабре.

В секторе (52,5–42,5° з.д.) в изменениях месячных СП ВАВ в 2000–2017 гг. присутствуют убывающие тренды в апреле, июне, августе, октябре и ноябре. Возрастающие тренды выявлены в январе, феврале, мае, июле, сентябре, декабре и в среднем за год.

В феврале–апреле, июне, августе, октябре и в среднем за год значимые тенденции к уменьшению месячных СП ВАВ в том же периоде выявлены в секторе Северной Атлантики (42,5–12,5° з.д.). В январе, июле и декабре значимые тенденции к увеличению данных показателей имели место в январе, июле и декабре.

В секторе Северной Атлантики (12,5°з.д.–0), непосредственно прилегающем к побережьям Западной Европы, значимые тенденции к уменьшению месячных СП ВАВ в современном периоде преобладали в марте, июне, сентябре. Тенденции к их увеличению наблюдались в июле и ноябре.

Таким образом, на всех участках маршрутов, пересекающих Северную Атлантику в период 2000–2017 гг. тенденции к увеличению СП ВАВ преобладали в декабре. Во всех ее секторах, кроме прилегающего к побережью Европы, аналогичные тенденции имели место также в июле.

В таблице 3 приведены средние значения месячных СП ВАВ для различных секторов Северной Атлантики и периода времени 2000–2017 гг.

Таблица 3.

2000–2017 гг.							
сектора	75–52,5°з.д.	52,5–42,5°з.д.	42,5–12,5°з.д.	12,5°з.д.– 0			
Январь	17,4	23,3	26,4	19,8			
Февраль	12,5	17,4	22,8	13,9			
Март	17,2	13,9	19,0	20,7			
Апрель	16,6	17,9	18,4	10,7			
Май	19,5	16,4	19,4	14,2			
Июнь	12,7	14,1	11,8	9,3			
Июль	14,7	21,9	11,7	8,9			
Август	13,6	17,6	14,9	9,2			
Сентябрь	10,1	13,5	15,5	10,4			
Октябрь	12,4	16,2	17,1	8,7			
Ноябрь	16,9	17,7	17,9	11,8			
Декабрь	19,3	18,3	20,9	17,1			
Год	183,0	208,2	216,0	154,7			

Средние значения месячных СП ВАВ для различных секторов Северной Атлантики и периода времени 2000–2017 гг.

Как видно из таблицы 3, наибольшие значения средних месячных СП ВАВ для периода времени 2000–2017 гг. соответствуют январю и третьему сектору Северной Атлантики (42,5–12, 5°з.д.), а их наименьшие значения – октябрю и летним месяцам для четвертого сектора (12,5°з.д.–0). В среднем за год во втором и третьем секторах их значения превышают уровни, соответствующие первому и четвертому сектору. Из этого следует, что в современном периоде наиболее благоприятные (с точки зрения возникновения штормов) условия на трансатлантических маршрутах в данном регионе, соответствуют его третьему сектору во все зимние месяцы, а наиболее сложные – четвертому сектору в октябре и на протяжении всего лета.

Особенностью выявленного сектора Северной Атлантики (52,5–12,5°з.д.), где в 2000–2017 гг. в зимние месяцы значения месячных СП ВАВ были близки к максимальным и устойчиво увеличивались, является расположение в нем Исландского минимума [12].

Так как ВАВ представляет собой течение холодного, сухого и плотного Арктического воздуха, последнее позволяет предположить, что в указанном периоде влияние ВАВ на состояние Исландского минимума усилилось. Следовательно, могло усилиться в зимний сезон и влияние ВАВ на состояние Североатлантического колебания [13, 14]. По той же причине могло усилиться и их влияние на траектории движения Атлантических циклонов над Европой, а также прилегающими к ее

побережьям акваториями Северной Атлантики [15]. Несмотря на то, что указанная связь не может не существовать, значимость влияния ВАВ на траектории движения Атлантических циклонов далеко не очевидна.

Повышение в Исландском минимуме P_{at} и снижение в нем T_в, которые возникают при пересечении его ВАВ, при прочих равных условиях тем ощутимей, чем больше объем и плотность принесенного им воздуха. Поэтому ВАВ, которые обладают наибольшей продолжительностью и шириной фронта, способны наиболее существенно влиять на состояние Исландского минимума. Наиболее существенными могут быть подобные изменения в зимние месяцы, когда различие плотностей Арктического воздуха и воздуха в Исландском минимуме наиболее велико.

Вследствие этого существенный интерес в плане выявления условий, при которых влияние ВАВ в Атлантическом секторе на погоду в Европейском регионе является значимым, может представлять оценка повторяемости ВАВ той или иной продолжительности и ширины фронта, происходящих зимой.

выводы

В результате проведенного исследования разработана методика обнаружения ВАВ, учитывающая оба устойчивых признака данного явления – повышение P_{ат} и снижение T_в на участках земной поверхности, над которыми оно происходит.

Тестирование разработанной методики показало, что в пределах выявленных с ее помощью участков земной поверхности, где происходили ВАВ, местные признаки этих процессов в полях P_{at} и T_{b} в те же даты практически всегда фиксировались и на метеостанциях, которые на них расположены.

Частоты, с которыми подобное имело место при применении предложенной методики, как правило, превосходят их значения, полученные по методике [5], и всегда выше, чем при использовании методик [2–4], что доказывает эффективность предложенного авторами подхода.

В период с 2000 по 2017 гг. наибольшие значения средних месячных СП ВАВ, а также угловых коэффициентов их линейных трендов, которые были оценены с применением разработанной методики, соответствовали зимним месяцам (декабрь – февраль) и сектору Северной Атлантики (52,5–12,5°з.д.). Наименьшие значения тех же показателей всюду приходятся на теплый сезон, в том числе в секторах, прилегающих к побережьям Северной Америки и Европы, а также секторе, соответствующем западной части моря Ирмингера, – в сентябре, а в секторе, где расположен остров Исландия – в июне и июле.

Последнее свидетельствует о произошедшем в указанном периоде изменении влияния ВАВ на состояние Исландского минимума, а также траектории движения циклонов над Европой, которое зимой усилилось, а летом ослабло.

Практическую значимость полученные в работе результаты могут иметь для судоходных компаний при долгосрочном планировании работы морского транспорта на маршрутах Северной Атлантики. Судовладельцам важно оценивать вероятности неблагоприятных погодных явлений и тенденции их развития при обеспечении безопасной эксплуатации своего флота.

Список литературы

- 1. Физическая география материков и океанов: учеб. / Ермаков Ю. Г., Игнатьев Г. М., Куранова Л. И. и др. под общ. ред. А.М. Рябчикова. Москва : Высш. Шк., 1988, 592 с.
- 2. Астапенко, П. Д. Атмосферные процессы в высоких широтах южного полушария. Москва : Издво АН СССР, 1960. 283 с.
- 3. Дзердзеевский, Б. Л., Курганская, В. М., Витвицкая, З. М. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов // Тр. н.-и. учреждений Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Сер. 2. Синоптическая метеорология. Вып. 21. Центральный институт прогнозов. Москва - Ленинград : Гидрометиздат, 1946. 80 с.
- Дзердзеевский, Б. Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в ХХ 4. столетии / Материалы метеорологических исследований. изд. ИГ АН СССР и Междувед. Геофиз. Комитета при Президиуме АН СССР. М.: 1968. 240 с.
- Холопцев, А. В., Подпорин, С. А., Курочкин, Л. Е. Арктические вторжения и тенденции 5. изменения метеоусловий в океанических регионах Умеренного климатического пояса // Труды международной научной конференции «Science: Discoveries and Progress». III International Scientific Conference. Czech Republic, Karlovy Vary - Russia, Moscow. September 28-29. 2018. 450-460 pp.
- 6. Sulby M. L. Fundamentals of Atmospheric Physics, New York: Academic Press, 1996, 560 p.
- 7. База данных. Результаты реанализа среднесуточных значений атмосферного давления. URL : ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/ncep.reanalisis.dailyavgs/level sea/
- 8. База данных. Результаты реанализа среднесуточных значений температуры воздуха на абсолютной высоте геопотенциала 100 гПа. URL ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/ncep.reanalisis.dailyavgs/temperature/
- 9. Кононова, Н. К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому. Москва : Воентехиниздат, 2009. 372 с.
- 10. Скворцов, А. В. Триангуляция Делоне и её применение. Томск : Изд-во Томского университета, 2002. 128 c.
- Скворцов, А. В., Мирза, Н. С. Алгоритмы построения и анализа триангуляции. Томск : Изд-во 11. Томского университета, 2006. 168 с.
- Mankin M. Atmospheric dynamics. London: Cambridge Univ. press. 2011. 512 p. 12.
- 13. Hurrell J. W., Kushnir Y., Ottersen G, Visbeck M. An overview of the North Atlantic Oscillation: The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact, Geophys. Monogr. 2003. Vol. 134. P. 1-35.
- 14. Hurrell J. W., Visbeck M., Busalacchi A. et al. Atlantic climate variability and predictability: a CLIVAR perspective // J. Climate, 2006. Vol. 19, No. 24. P. 5100-5121.
- 15. Нестеров, Е. С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. Москва : Триада, ЛТД, 2013. 144 c.

ESTIMATION OF TOTAL DURATION OF ARCTIC AIR OUTBREAKS USING

NCEP/NCAR REANALYSIS DATA OF TEMPERATURE AND ATMOSPHERIC

PRESSURE FOR THE NORTH ATLANTIC

Kholoptsev A. V.^{1,2}, Podporin S. A.², Momot M. D.²

¹Sevastopol office of federal state budgetary institution "State Oceanographic Institute of N. N. 222

ОЦЕНКА СУММАРНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ АРКТИЧЕСКИХ ВТОРЖЕНИЙ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА...

Zubov", Sevastopol, Russian Federation

²FSAEI "Sevastopol state university", Sevastopol, Russian Federation E-mail: kholoptsev@mail.ru, SAPodporin@sevsu.ru

This paper aims to estimate modern values and trends in changes of total duration of Arctic air outbreaks over various parts of the North Atlantic, which were obtained by use of NCEP/NCAR reanalysis data for both the atmospheric pressure and the air temperature. To obtain such estimates, two main tasks were addressed:

1. Elaboration and testing of a new technique for Arctic air outbreaks detection by use of NCEP/NCAR reanalysis data for both the atmospheric pressure and the air temperature.

2. Investigation into various aspects of this technique implementation when carrying out estimations of changes of total duration of Arctic air outbreaks over different parts of the North Atlantic region.

Basic information on cold air outbreaks is given. It has been shown that these meteorological phenomena can seriously influence operation and development of various economic sectors, operation of transport complexes being one of them.

It has been demonstrated that as far as marine transportation sector is concerned, the safety of the navigation in the North Atlantic, which is one of the busiest region in terms of marine traffic, can be compromised if these phenomena are not accounted for as they substantially influence the weather and the sea state in the region.

A new technique for detecting Arctic air outbreaks, based on use of NCEP/NCAR reanalysis data, has been proposed. The adequacy of the time series of the average daily values of adjusted-to-sea level atmospheric pressure as well as air temperature, obtained with its help, has been tested for weather stations of the Crimean Peninsula.

The test has enabled to estimate the probability of identifying signs of Arctic outbreaks simultaneously at all Crimean Roshydromet meteorological stations during the periods when they were detected. It has been found out that the application of the proposed methodology for detecting Arctic air outbreaks enables to obtain estimates of the trends in meteorological conditions in the Azov-Black Sea region, which are practically consistent with the data of the weather stations. This allowed to accept the possibility of its use in the oceanic regions, where no systematic meteorological observations have been previously conducted, one of which being the region in question – the North Atlantic.

Deep study has been performed into estimations of changes of total duration of Arctic air outbreaks over different parts of the North Atlantic region. For this purpose, the sector in question was divided into equal longitude subsectors. Each of them was studied for the number and duration of Arctic air outbreaks in different years and months of the period from 1948 to 2017.

It has been revealed that during the modern era (2000-2017) the most favorable conditions in terms of sea state on transatlantic shipping routes are observed in the third sector $(42.5^{\circ}W-12.5^{\circ}W)$ in all winter months. The most complicated conditions correspond to the fourth sector $(12.5^{\circ}W-0)$ in October and during all summer months.

Also it has been shown that Arctic air outbreaks can influence the state of the Icelandic Low as well as the paths of cyclones propagation over Europe.

The results can as well be used to improve management of water transport and ensure better quality of prognostic information available for ships engaged on long voyages across North Atlantic.

Keywords: Arctic air outbreaks, detection technique, frequency, Atlantic Ocean, air temperature, atmospheric pressure

References

- 1. Fizicheskaya geografiya materikov i okeanov: ucheb. (Physical Geography of Continents and Oceans: Studybook) / Ermakov Yu. G, Ignat'ev G. M., Kuranova L. I. et al.; edited by A.M. Ryabchikova. M.: Vyssh. SHk. (Publ.), 1988. 592 p. (in Russian)
- Astapenko P. D. Atmosfernye processy v vysokih shirotah yuzhnogo polushariya (Atmospheric Pprocesses in High Latitudes of the Southern Hemisphere). M.: Izd-vo AN SSSR (Publ.), 1960. 283 p. (in Russian)
- 3. Dzerdzeevskij B.L., Kurganskaya V.M., Vitvickaya Z.M. Tipizaciya cirkulyacionnyh mekhanizmov v severnom polusharii i harakteristika sinopticheskih sezonov (Typification of circulation mechanisms in the northern hemisphere and the characteristic of synoptic seasons). Tr. n.-i. uchrezhdenij Gl. upr. gidrometeorol. sluzhby pri Sovete Ministrov SSSR. Ser. 2. Sinopticheskaya meteorologiya. Vyp. 21. Central'nyj institut prognozov. M., L.: Gidrometizdat (Publ.), 1946. 80 p. (in Russian)
- 4. Dzerdzeevskij B.L. Cirkulyacionnye mekhanizmy v atmosfere Severnogo polushariya v XX stoletii (Circulating mechanisms in the atmosphere of the Northern Hemisphere in the twentieth century). Materialy meteorologicheskih issledovanij. izd. IG AN SSSR i Mezhduved. Geofiz. Komiteta pri Prezidiume AN SSSR. M.: 1968. 240 p. (in Russian)
- Holopcev A. V., Podporin S. A., Kurochkin L. E. Arkticheskie vtorzheniya i tendencii izmeneniya meteouslovij v okeanicheskih regionah Umerennogo klimaticheskogo poyasa (Arctic Air Outbreaks and Weather Trends in Oceanic Regions of the Temperate Climate Zone)/ Proceedings of International Scientific Conference «Science: Discoveries and Progress». III International Scientific Conference. Czech Republic, Karlovy Vary – Russia, Moscow. September 28–29. 2018. 450–460 pp. (in Russian)
- 6. Sulby M. L. Fundamentals of Atmospheric Physics. New York: Academic Press. 1996. 560 p.
- 7. Database. Results of reanalysis of average daily values of atmospheric pressure. ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/ncep.reanalisis.dailyavgs/level sea/
- Database. Results of reanalysis of average daily values of air temperature at absolute geopotential altitude of 100hPa. ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/ncep.reanalisis.dailyavgs/temperature/
- Kononova N.K. Klassifikaciya cirkulyacionnyh mekhanizmov Severnogo polushariya po B. L. Dzerdzeevskomu (Classification of the circulatory mechanisms of the Northern Hemisphere according to B. L. Dzerdzeevsky) M. IG RAN: Voentekhinizdat (Publ.). 2009. 372 p. (in Russian)
- 10. Skvorcov A. V. Triangulyaciya Delone i eyo primenenie (Delaunay triangulation and its application). Tomsk: Tomsk University Press (Publ.), 2002. 128 p. (in Russian)
- 11. Skvorcov A. V., Mirza N. S. Algoritmy postroeniya i analiza triangulyacii (Algorithms for constructing and analyzing triangulation). Tomsk: Tomsk University Press (Publ.), 2006. 168 p. (in Russian)
- 12. Mankin M. Atmospheric dynamics. London: Cambridge Univ. press. 2011. 512 p.
- Hurrell J. W., Kushnir Y., Ottersen G., Visbeck M. An overview of the North Atlantic Oscillation: The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact, Geophys. Monogr. 2003. Vol. 134. P. 1–35.
- Hurrell J. W., Visbeck M., Busalacchi A. et al. Atlantic climate variability and predictability: a CLIVAR perspective. J. Climate, 2006. Vol. 19, No. 24. P. 5100–5121.
- 15. Nesterov E. S. Severoatlanticheskoe kolebanie: atmosfera i ocean (North Atlantic Oscillation: Atmosphere and Ocean). M.: Triada, LTD (Publ.), 2013. 144 p. (in Russian)

Поступила в редакцию 09.11.2019 г.