

Д.Н. ТРОШКИН*, М.В. КАБАНОВ**, В.Е. ПАВЛОВ*

*Институт водных и экологических проблем СО РАН,
656038, Барнаул, ул. Молодежная, 1, Россия, uchsec@iwep.ru, vpavlov_37@mail.ru

**Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
634055, Томск, Академический пр., 10/3, Россия, kabanov@imces.ru

ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ВОДЯНОГО ПАРА НАД ЯМАЛОМ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА

На основе данных четырехлетних измерений общего содержания водяного пара в атмосфере с европейского спутника ENVISAT в теплые периоды года (июнь–август) проанализировано его пространственное распределение на территории п-ова Ямал и в близлежащих окрестностях. Особое внимание уделено вариациям водяного пара при переходе от мало- к обильно обводненным участкам подстилающей поверхности. Выявлено, что для всех пяти выбранных участков, расположенных в сухой тундре и крупных водоемах, оказался типичным не гауссов, а логарифмический вид функций распределения общего содержания водяного пара по числу случаев его измерений. Каждая функция имеет по меньшей мере две моды. Вычислены и приведены параметры этих мод, которые необходимы при проведении модельных расчетов климатических условий на северных территориях. Среднегеометрические величины общего содержания водяного пара над Гыданской, Байдарацкой и, особенно, Обской губами могут более чем в полтора раза превышать таковые для малообводненных территорий тундры и имеют четкие границы, совпадающие с географическими контурами водоемов. С наибольшей вероятностью эти границы реализуются при незначительных скоростях приземных ветров, что свидетельствует о слабо выраженном процессе турбулентного перемешивания нижних слоев воздуха. Такой вывод подтвержден результатами обработки опубликованных данных наземных и спутниковых наблюдений. По ним для всех пяти участков рассчитаны и построены розы ветров в те же временные интервалы, когда проводились спутниковые измерения содержания водяного пара. Их анализ свидетельствует о том, что на выбранных участках преобладает северное и северо-западное направление ветра, а средние скорости ветров на высоте 10 м над подстилающей поверхностью равны 5–6 м/с при среднеквадратическом отклонении 1,5 м/с. Приводятся дополнительные сведения о виде функций распределения ряда параметров и в других природных средах (водные объекты, растительность), подтверждающие вышеизложенное для водяного пара.

Ключевые слова: Обская, Гыданская и Байдарацкая губы, тундра, роза ветров, функция распределения общего содержания водяного пара, пространственное распределение, испарение.

D.N. TROSHKIN*, M.V. KABANOV**, V.E. PAVLOV*

*Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
656038, Barnaul, ul. Molodezhnaya, 1, Russia, uchsec@iwep.ru, vpavlov_37@mail.ru

**Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
634055, Tomsk, Akademicheskii pr., 10/3, Russia, kabanov@imces.ru

TOTAL CONTENT OF WATER VAPOR OVER YAMAL DURING THE WARM PERIOD OF THE YEAR

The spatial distribution of total water vapor content over the Yamal Peninsula and adjacent territories was analyzed using data of four-year-long measurements from the European ENVISAT satellite during warm periods of the year (June–August). Special attention was given to water vapor variations at the transition from little to abundant water-bearing areas of the underlying surface. It was found that for the five selected sites located in a dry tundra and in large water bodies the logarithmic rather than Gaussian form of the distribution functions of total water vapor content turned out to be typical according to the number of its measurements. Each function has at least two modes. The parameters of these modes were calculated and presented, and they are necessary for simulation of climatic conditions in the northern territories. Geometric mean values of total water vapor content over the Gulfs of Gydan and Baidaratsk, and especially over the Gulf of Ob, can be by a factor of 1.5 larger than those for the less water-abundant areas of tundra and have clear boundaries coincident with geographical contours of the water bodies. It is most likely that these boundaries exist at insignificant speeds of surface winds, which is indicative of weak turbulent mixing of the lower air layers. This conclusion is confirmed by results from processing published data of ground-based and satellite observations.

For the five sites they were used to calculate and construct the wind roses for all five sections in the same time intervals when the satellite measurements of water vapor content were carried out. Wind rose analysis shows that the average velocity of predominantly N and NW winds on all the selected sites at a height of 10 m above the underlying surface are 5–6 m/s with a standard deviation of 1.5 m/s. Additional data are presented on the form of the distribution function of various parameters in other natural environments (water bodies and vegetation) which give support to what has been said above about water vapor.

Keywords: *Gulf of Ob, Gydan and Baidaratsk, tundra, wind roses, cumulative distribution curve of total content of water vapor, spatial distribution, evaporation.*

ВВЕДЕНИЕ

Современные глобальные изменения климата характеризуются большим разнообразием трендов наблюдаемых параметров в различных регионах планеты [1, 2]. Оно определяет необходимость более детальных исследований не только региональных климатообразующих факторов [3], но и отдельных характеристик региональной климатической системы [4, 5]. Среди последних такая характеристика, как общее содержание водяного пара в исследуемом регионе, играет лидирующую роль в парниковом эффекте как непосредственно, так и через механизм облакообразования [6, 7].

В связи с увеличением объемов добычи углеводородов на п-ове Ямал и в его близлежащих окрестностях возникают дополнительные требования к разработкам новых методов прогнозирования и контроля метеоусловий в этом регионе. Особое значение обретают исследования, направленные на выявление функций распределения для отдельных атмосферных переменных, имеющих негауссовую статистику [8, 9]. Цель исследования — нахождение и анализ конкретных видов функций распределения для таких переменных (к ним относится и содержание водяного пара), что позволяет уточнить вероятность экстремальных аномалий при моделировании изменений региональной системы.

В настоящей статье по спутниковым данным проводится оценка влияния процессов испарения малообводненных участков тундры и больших водоемов на общее содержание водяного пара W (кг/м²) в ряде северных регионов. Устанавливается вид функций распределения W по числу измерений N . Вычисляются количественные характеристики пара, позволяющие построить пространственную картину его распределения по Ямалу и Гыданскому полуострову. Выясняется роль ветров в формировании пространственного распределения водяного пара на этих полуостровах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Результаты работы базируются на экспериментальных данных по общему содержанию водяного пара в безоблачной атмосфере, определенных фотометрическим методом с помощью спутника ENVISAT [10]. Пространственное разрешение составляло $4,5 \times 4,5$ км. Величины общего содержания водяного пара W в абсолютных единицах (кг/м²) для летних условий были получены с июня по август 2008–2011 гг. (последние четыре летних сезона работы спутника на орбите). Как и при изучении распределений общего содержания водяного пара над тремя участками юга Западной Сибири [11], выделено пять квадрантов примерно одной площади с разными подстилающими поверхностями на Байдарацкой губе, Гыданской губе, Обской губе, а также на п-овах Ямал и Гыданский. Территории, занимаемые этими участками, изображены на рис. 1. Их координаты: Байдарацкая губа — $68,25\text{--}69,25^\circ$ с. ш., $68\text{--}69^\circ$ в. д.; Гыданская губа — $71\text{--}72^\circ$ с. ш., $75,375\text{--}76,375^\circ$ в. д.; Обская губа — $69\text{--}70^\circ$ с. ш., $72,625\text{--}73,625^\circ$ в. д.; п-ов Ямал — $69\text{--}70^\circ$ с. ш., $71\text{--}72^\circ$ в. д.; Гыданский полуостров — $69,5\text{--}70,5^\circ$ с. ш., $75,375\text{--}76,375^\circ$ в. д.

Прежде всего были рассчитаны функции распределения величин общего содержания водяного пара W по числу его измерений N (плотность вероятности), которое колебалось от минимального значения 1742 (Гыданская губа, 2010 г.) до 6274 (Гыданский полуостров, 2008 г.), среднее значение $N = 3503$. Относительный вид этих функций за летний период 2009 г. в логарифмических координатах $F(\lg(W))$ представлен на рис. 2. В другие годы картина с несущественными вариациями графиков в целом сохраняется.

Распределения носят не гауссов, а нормальный логарифмический характер, причем имеют по меньшей мере две моды (см. рис. 2). Аналитическое выражение для интегральной функции при бимодальном распределении следующее:

$$F(\lg(W)) = \frac{dN}{d \lg(W)} = \frac{A_1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} e^{-\frac{(\lg(W)-\lg(W_1))^2}{2\sigma_1^2}} + \frac{A_2}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} e^{-\frac{(\lg(W)-\lg(W_2))^2}{2\sigma_2^2}},$$

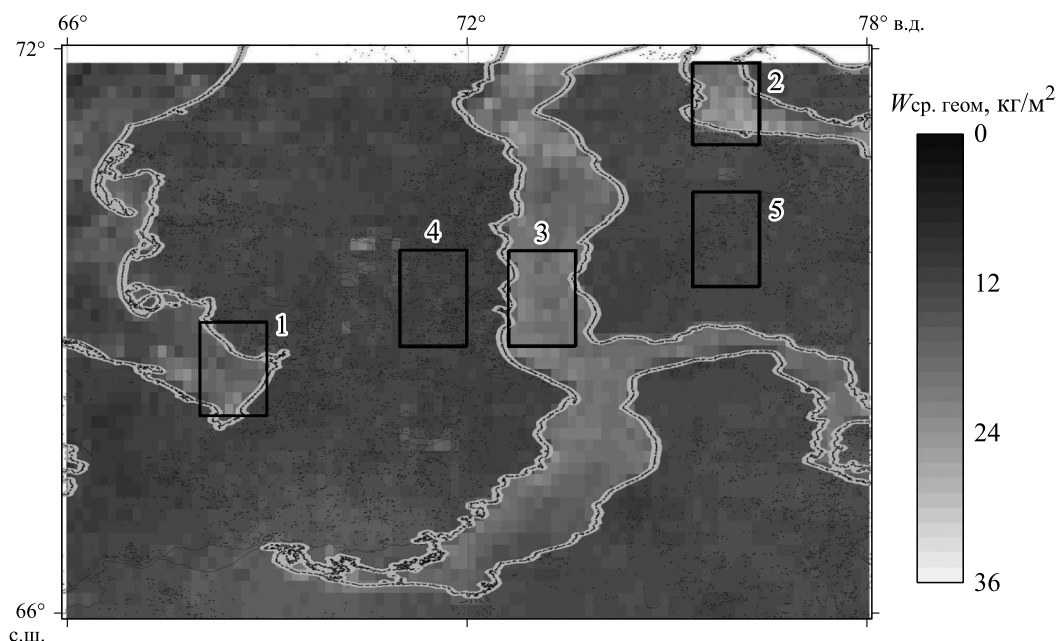


Рис. 1. Среднегеометрическое содержание водяного пара ($W_{\text{ср. геом}}$, кг/м²) в районе п-ова Ямал летом 2008 г. Квадранты: 1 — Байдарацкая губа, 2 — Гыданская губа, 3 — Обская губа, 4 — п-ов Ямал, 5 — Гыданский полуостров. Контурами обозначены границы водоразделов.

с условием нормировки:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} F(\lg(W)) d \lg(W) = 1, \quad A_1 + A_2 = 1, \quad (1)$$

где W_1, W_2 — содержание водяного пара (кг/м²), соответствующее центрам первой и второй мод; σ_1, σ_2 — дисперсии мод; A_1, A_2 — долевого вклада каждой из мод в итоговое распределение.

Появление в распределениях нескольких мод может быть обусловлено различными механизмами и(или) источниками поступления водяного пара в атмосферу над соответствующими территориями. Заметим, что аналогичный вид функции распределения имеет место для капельной и кристаллической фракций воды на территории Сибири в облаках [5, 6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Приведенные на рис. 2 графики требуют определенных пояснений. Кривые квадрантов 4 и 5, максимумы которых приходятся на значение $\lg(W) \sim 1,1$, наиболее близки к гауссовой форме. Согласно рис. 1, они расположены на суше. Участки же, соответствующие квадрантам 1, 2 и 3, где главные максимумы $\lg(W)$ соответствуют 1,2–1,4, находятся на территориях обширных водоемов. Отсюда следует, что появление дополнительных максимумов при больших величинах W связано с большей активностью испарения воды с подстилающей поверхности.

Особенно отчетливо этот эффект проявляется при анализе абсолютных величин общего содержания водяного пара в атмосфере при сопоставлении результатов расчетов на всех участках (см. рис. 1, карта водоемов на п-ове Ямал и окружающих его территориях). Поскольку функции распределения содержания W по числу измерений носят логнормальный характер, были вычислены среднегеометрические значения $W_{\text{ср. геом}}$. Видно, что на фоне величин общего содержания пара 9,1–15,6 кг/м², характерных для малообводненной тундры, четко выделяются большие водоемы. Пространственное расположение этих источников водяного пара хорошо согласуется с географическими контурами природных водоемов и характеризуется значениями $W_{\text{ср. геом}}$ 15,6–28,7 кг/м². Подобное заключение с физической точки зрения тривиально, однако предложенный подход позволяет получить достаточно четкие представления о количественном вкладе испаренной водоемами воды в общее содержание водяного пара в конкретных условиях.

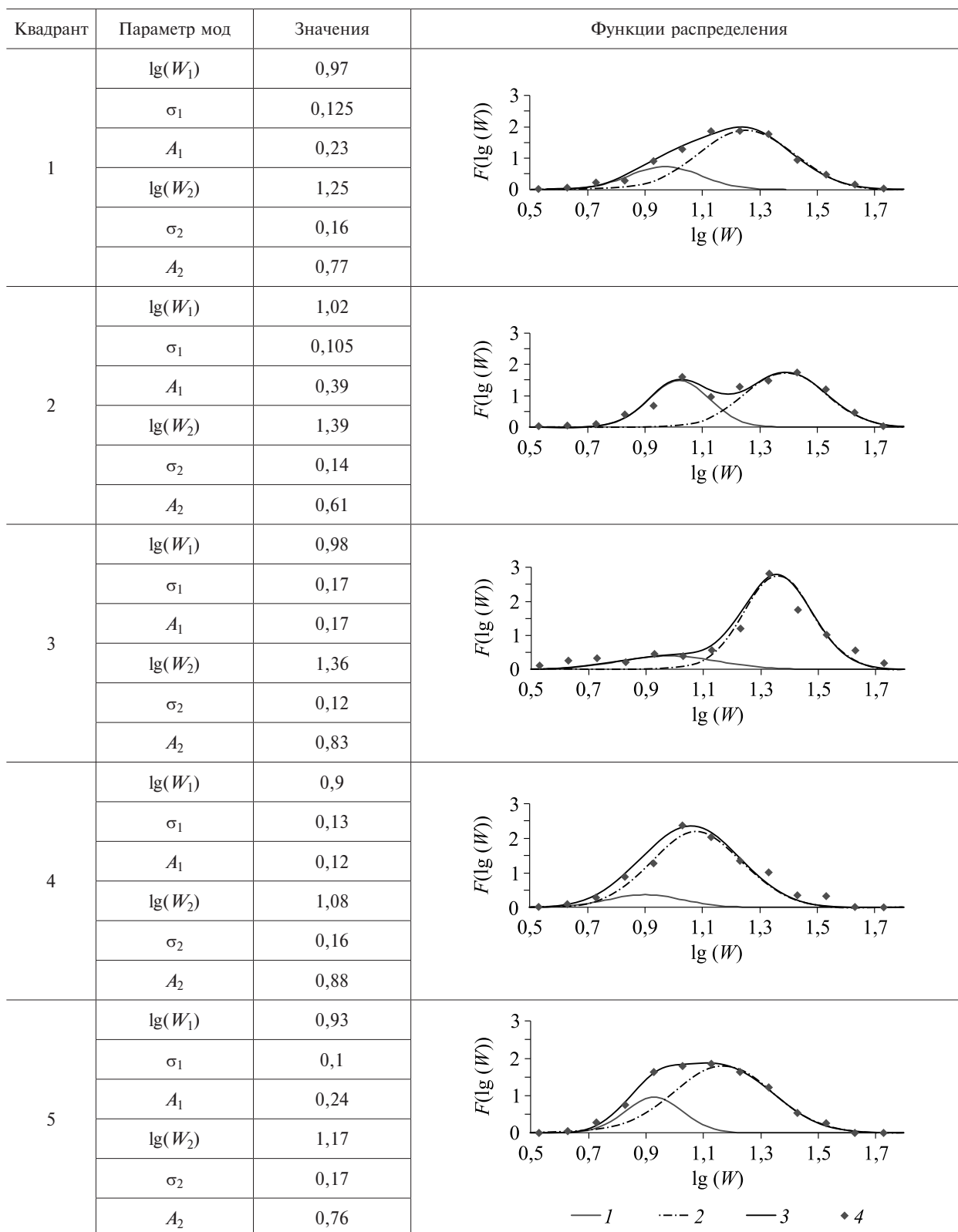


Рис. 2. Нормированные функции распределения и определяющие их параметры.

1, 2 — первая и вторая моды; 3 — итоговое распределение; 4 — экспериментальные данные. Квадранты 1–5 см. на рис. 1; параметры мод — см. текст.

Здесь необходимо обратить внимание на следующие два обстоятельства. Во-первых, количество водяного пара, генерируемое поверхностями Байдарацкой и Гыданской губ, заметно меньше количества пара, поступающего в атмосферу от Обской губы. Это, несомненно, связано с различием поверхностных температур водоемов. Воды Северного Ледовитого океана, поступающие в Байдарацкую и Гыданскую губы, заметно холоднее стекающих в Обскую губу с континента.

Во-вторых, хорошее согласие географического и вычисленного по содержанию водяного пара контуров Обской губы (см. рис. 1) может осуществляться в природе только при малых скоростях приземных ветров. В противном случае турбулентные движения в нижних слоях атмосферы будут «смазывать» наблюдаемый эффект. Незначительные скорости ветров на высоте 10 м над подстилающей поверхностью следуют из данных [10], представленных после соответствующей обработки на рис. 3. На нем изображены осредненные в течение четырехлетнего периода розы ветров и приведены средние скорости ветра для каждого обследуемого участка. Видно, что во всех случаях преобладает северное либо северо-западное направление. Средние скорости не превышают ~5,5 м/с при среднеквадратическом разбросе около ~1,5 м/с.

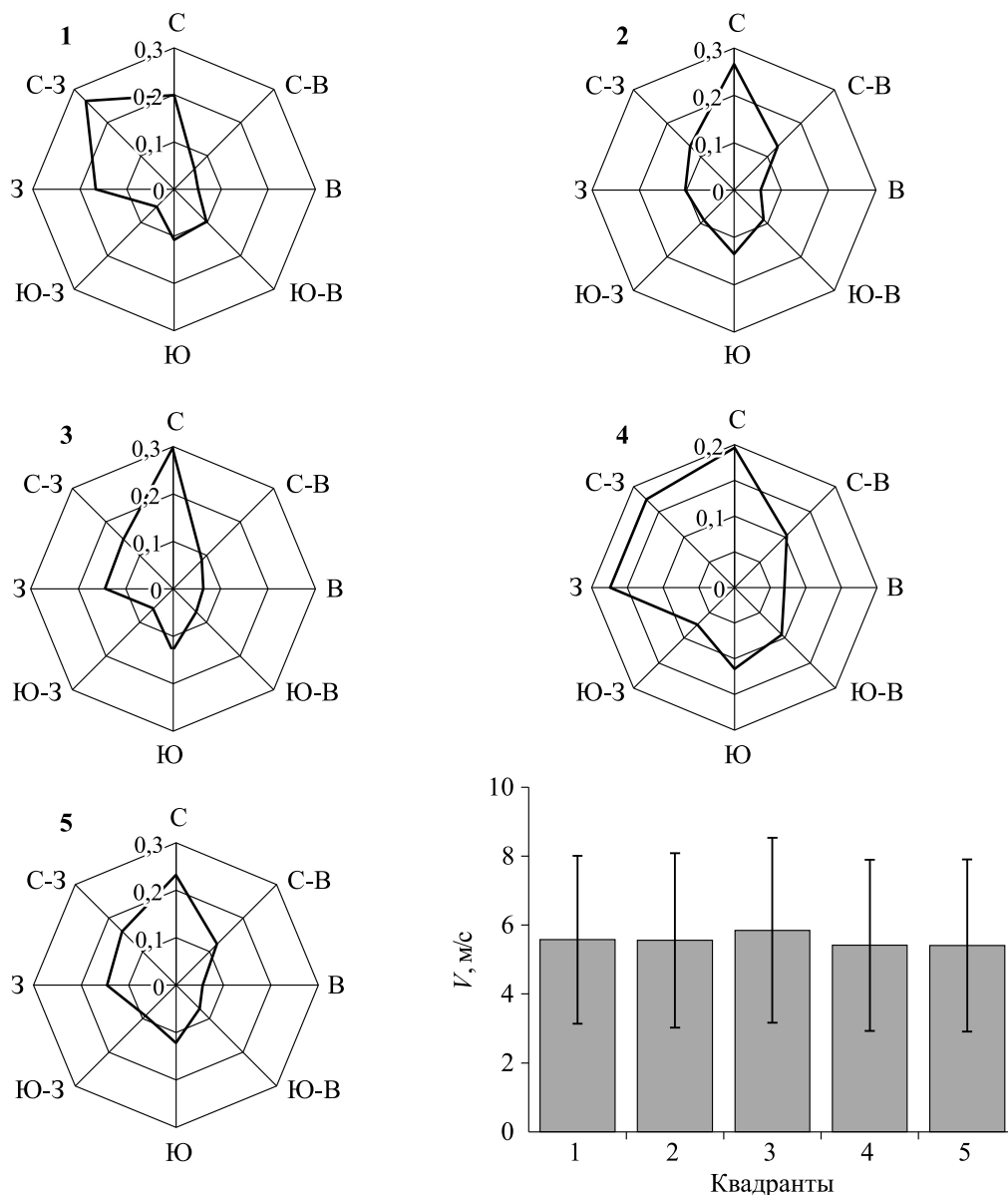


Рис. 3. Средние летние распределения направлений и скоростей ветров.

Квадранты 1–5 см. на рис. 1.

В большом количестве учебников довольно подробно расписана схема вычисления среднеарифметических величин атмосферных параметров (например, [12]). С большой долей вероятности эта схема и сегодня часто применяется на практике. Однако при таком подходе сложно прогнозировать возникновение особых природных ситуаций и тем более катастроф, учащающихся в наше время и носящих порой разрушительный характер.

Несомненно, современная климатология должна базироваться на реальных функциях распределений концентраций каждого из атмосферных параметров по числу наблюдений. Эти функции могут не соответствовать гауссовой форме [8, 9]. Поскольку водяной пар относится к важнейшим климатообразующим параметрам атмосферы, то можно полагать, что приводимые в настоящей статье результаты более приемлемы для проведения модельных расчетов климатических условий на Ямале и в близлежащих окрестностях, чем получаемые при использовании классической схемы. При обработке экспериментальных рядов могут оказаться полезными предложения, представленные в публикациях [13, 14].

Мы попытались проанализировать вопрос о частоте реализаций в природе гауссового и логнормального распределений концентраций различных примесей по числу измерений, причем не только в воздухе, но и в других природных объектах (реки, растительность). Естественно, полученные итоги носят предварительный характер. Работы были выполнены специалистами Института водных и экологических проблем и ряда других институтов СО РАН. Ниже в сжатой форме представлены выводы, сделанные в результате совместных исследований.

Начнем изложение с примесей, имеющих наименьшие размеры частиц: химических элементов, ионов и органических молекул. Каждый из химических элементов, входящих в состав зимнего аэрозоля и накапливаемых в снеговом покрове Алтайского края и Кемеровской области, характеризуется логнормальным распределением концентраций по числу измерений [15–18]. Количество мод у этих функций — одна. Такой же вывод следует для полиароматических углеводородов, выбрасываемых в воздух промышленными предприятиями и оседающих вместе с аэрозолями в снег на востоке Алтайского края [19].

Подобные одномодальные нормальные логарифмические функции распределения характерны для ионов и малых газовых составляющих атмосферы, пробы которых были отобраны в ряде пунктов на востоке России, от Монд до побережья Тихого океана [20, 21]. Ионы, содержащиеся в осадках, проявляют себя аналогичным образом [22].

Мы склонны считать, что наличие одной моды у каждой функции распределения [15–22], скорее всего, связано с существованием одного главного источника при формировании той или иной примеси в атмосфере. Вклад других источников в суммарные концентрации, по-видимому, не слишком значим.

Картина существенно усложняется, если таких источников несколько и они сопоставимы по своей продуктивности. Так, еще к 1980 г. сотрудниками Института физики атмосферы АН СССР было установлено, что функции распределения частиц аэрозоля имеют три моды [23]. Они возникают как следствие существования ультрамикроскопической (ядра Айткена), средне- и грубодисперсной фракций аэрозоля в атмосфере. Каждая из них имеет индивидуальный источник поступления в атмосферу и характеризуется своей нормальной логарифмической функцией распределения оптических толщ по числу измерений. Аналогичный вид этих функций имеют и облачные образования как над обширными территориями [5, 6] (северная и южная половины Западно-Сибирской низменности), так и на локальных участках (лесостепь в районе г. Омска, Васюганское болото и лес северо-восточнее г. Томска [5, 6]). Число мод равно двум-трем.

Дополнительно к вышеизложенному следует добавить, что нами были изучены функции распределения концентраций химических элементов, одновременно измерявшихся в гидрозоле и аэрозоле бассейна Средней Оби [24], ионов в южных притоках оз. Байкал [25], хлорофилла в водах Телецкого озера [26], фенольных соединений в растениях Алтая [27, 28] и т. д. Из тысяч проанализированных функций распределения разных примесных компонент лишь в водах притоков Южного Забайкалья (не в воздухе!) эти одномодальные функции для разных ионов оказались близки к гауссовым. Различия же вычисленных в последнем случае величин среднегеометрических и среднеарифметических концентраций не превышали нескольких процентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в ходе проведенной работы сведения о бимодальных распределениях общего содержания водяного пара в атмосфере показывают некорректность безусловного применения моделей

влажносодержания, которые построены в предположении гауссова распределения. Из количественных данных следует, что при создании региональных климатических моделей (с учетом моделей влажносодержания) необходимо учитывать физико-географические особенности каждого региона.

В целом же массовое использование полученных нами результатов для модельных расчетов климатических условий и возможных погодных аномалий в каждом конкретном регионе требует подробных дополнительных исследований. Это связано с тем, что функции распределения, полученные по экспериментальным данным только в безоблачные дни, отражают статистику как содержания водяного пара, так и безоблачных дней. Поэтому предложенную в настоящей статье интерпретацию бимодальных функций распределения по содержанию водяного пара следует считать предварительной.

Вместе с тем в работе показано, что при изучении примесей в атмосфере или водоемах в каждом конкретном случае прежде всего следует устанавливать вид функций распределения их концентраций по числу проб и их отличия от гауссовых кривых. Это особенно важно в эпоху глобальных изменений климата на Земле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пятый** оценочный доклад МГЭИК об изменениях климата и их последствиях (2014 г.) [Электронный ресурс]. — <http://www.ipcc.ch/> (дата обращения 07.04.2016).
2. **Второй** оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Ред. А.В. Фролов. — М.: Росгидромет, 2014. — 1008 с.
3. **Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В., Харюткина Е.В.** Структура и динамика метеорологических полей на азиатской территории России в период интенсивного глобального потепления 1975–2005 гг. // Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология (спецвып. «Изменения климата и экосистемы»). — 2008. — № 1 (4). — С. 323–344.
4. **Кабанов М.В.** Региональные климаторегулирующие факторы в Западной Сибири // География и природ. ресурсы. — 2015. — № 3. — С. 107–113.
5. **Трошкин Д.Н., Кабанов М.В., Павлов В.Е., Романов А.Н.** Функция распределения оптических толщ облаков над Западно-Сибирской низменностью // Докл. АН. — 2011. — Т. 436, № 2. — С. 258–261.
6. **Трошкин Д.Н., Кабанов М.В., Павлов В.Е., Романов А.Н., Хвостов И.В.** Повторяемость облачных ситуаций и оптические толщи облаков над Западно-Сибирской низменностью по данным спутника ENVISAT // Оптика атмосферы и океана. — 2012. — Т. 25, № 9. — С. 784–787.
7. **Комаров В.С., Ломакина Н.Я., Ильин С.Н., Лавриненко А.В.** Современные изменения климата пограничного слоя атмосферы над территорией Сибирского региона. — Томск: Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2013. — 210 с.
8. **Голицын Г.С., Мохов И.И., Акперов М.Г., Бардин М.Ю.** Функции распределения вероятности для циклонов и антициклонов в период 1952–2000 гг.: инструмент для определения изменений глобального климата // Докл. АН. — 2007. — Т. 413, № 2. — С. 254–256.
9. **Логинов С.В., Елисеев А.В., Мохов И.И.** Влияние негауссовой статистики атмосферных переменных на экстремальные внутримесячные аномалии // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. — 2017. — Т. 53, № 3. — С. 307–317.
10. **ENVISAT products specifications. Vol. 11: MERIS products specifications.** [Электронный ресурс]. — http://earth.esa.int/pcs/envisat/meris/documentation/meris_3rd_reproc/Vol11_Meris_6a.pdf (дата обращения 11.04.2011).
11. **Трошкин Д.Н., Безуглова Н.Н., Кабанов М.В., Павлов В.Е., Соколов К.И., Суковатов К.Ю.** Сравнительный анализ и функции распределения общего содержания водяного пара в атмосфере на юге Западной Сибири по спутниковым данным // Исследования Земли из космоса. — 2016. — № 5. — С. 56–59.
12. **Основные климатические показатели. Виды климатических показателей.** [Электронный ресурс]. — https://studbooks.net/1782451/geografiya/osnovnye_klimaticheskie_pokazateli (дата обращения 11.01.2018).
13. **ГОСТ Р ИСО 5479-2002.** Статистические методы. Отклонения распределения вероятностей от нормального распределения. — М.: Изд-во стандартов, 2002. — 30 с.
14. **Павлов В.Е., Суторихин И.А., Хвостов И.В.** Вычислительная схема для систематизации распределения химических элементов по концентрациям в антропогенном аэрозоле // Вестн. Казан. нац. ун-та. — 2008. — Т. 13, № 4 (S3). — С. 21–26.
15. **Павлов В.Е., Суторихин И.А., Хвостов И.В., Зинченко Г.С.** Состав аэрозоля, накапливаемого в снеговом покрове Алтайского края // Оптика атмосферы и океана — 2006. — Т. 19, № 6. — С. 513–517.
16. **Pavlov V.E., Sutorikhin I.A., Khvostov I.V.** Mesoscale stability in the distribution of some chemical elements in concentrations in snow cover on the Altai Territory // Doklady Earth Sciences. — 2006. — Vol. 406, N 1. — P. 163–166.
17. **Павлов В.Е., Суторихин И.А., Хвостов И.В.** Элементный состав зимнего аэрозоля на различном удалении от антропогенных источников // Пробл. региональной экологии. — 2008. — № 5. — С. 90–102.
18. **Павлов В.Е., Суторихин И.А., Хвостов И.В.** Мезомасштабный характер распространенности ряда химических элементов в аэрозоле, загрязняющем снежный покров городов Кемеровской области // Оптика атмосферы и океана. — 2007. — Т. 20, № 1. — С. 96–97.

19. Павлов В.Е., Морозов С.В., Рапута В.Ф., Коковкин В.В., Хвостов И.В. Исследование аэрозольных выпадений полиароматических углеводородов в сфере влияния г. Барнаула // Химия в интересах устойчивого развития. — 2011. — № 9. — С. 287–294.
20. Голобокова Л.П., Павлов В.Е., Хвостов И.В., Ходжер Т.В. Распределение ряда ионов и малых газовых составляющих по концентрациям в приземном воздухе некоторых районов Восточной Сибири и Дальнего Востока // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. — 2011. — Т. 47, № 3. — С. 359–365.
21. Павлов В.Е., Голобокова Л.П., Жамсуева Г.С., Заяханов А.С., Филимонова У.Г., Хвостов И.В., Ходжер Т.В. Корреляционные соотношения между концентрациями ряда ионов в растворимых фракциях аэрозоля на Азиатском континенте // Оптика атмосферы и океана. — 2011. — Т. 24, № 6. — С. 483–487.
22. Павлов В.Е., Хвостов И.В., Нецветаева О.Г. Ионный состав атмосферных осадков на юге Восточной Сибири // Оптика атмосферы и океана. — 2013. — Т. 26, № 6. — С. 494–499.
23. Розенберг Г.В., Горчаков Г.И., Георгиевский Ю.С., Любовцева Ю.С. Оптические параметры атмосферного аэрозоля // Физика атмосферы и проблемы климата. — М.: Наука, 1980. — С. 216–257.
24. Павлов В.Е., Суторихин И.А., Гранберг И.Г., Ковальская Г.А., Карбышев С.Ф., Микушин В.В. Соотношение концентраций аэро- и гидрозоля в бассейне Средней Оби // Докл. АН. — 2001. — Т. 380, № 6. — С. 813–815.
25. Павлов В.Е., Сороковикова Л.М., Томберг И.В., Хвостов И.В. Пятидесятилетние изменения в ионном составе вод малых притоков Южного Байкала // Водные ресурсы. — 2014. — Т. 41, № 5. — С. 541–543.
26. Павлов В.Е., Кириллова Т.В., Кованова О.В., Кириллов В.В. Упрощенная модель пространственного распределения хлорофиллов и каротиноидов в Телецком озере // Оптика атмосферы и океана. — 2012. — Т. 25, № 1. — С. 55–60.
27. Павлов В.Е., Храмова Е.П., Хвостов И.В., Ковальская Г.А., Куценогий К.П., Чанкина О.В., Ковалевская Н.М. Обобщенная модель распространенности ряда химических элементов в *Pentaptyloides fruticosa* // Химия раст. сырья. — 2008. — № 3. — С. 163–168.
28. Храмова Е.П., Павлов В.Е., Хвостов И.В. Особенности распределения некоторых фенольных соединений в растениях *Pentaptyloides fruticosa* (Rosaceae) Горного Алтая // Раст. мир Азиатской России. — 2016. — № 4 (24). — С. 72–79.

Поступила в редакцию 21.02.2018

После доработки 02.10.2018

Принята к публикации 19.09.2019