

Межгодовая изменчивость приземного и интегрального влагосодержаний на территории Европы и атмосферная циркуляция

О.Г. Хуторова, В.Е. Хуторов, Г.М. Тептин*

*Казанский федеральный университет
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18*

Поступила в редакцию 26.01.2018 г.

Исследована изменчивость временных рядов интегрального влагосодержания атмосферы и приземного парциального давления водяного пара для территории Европы за многолетний период. Основной вклад в дисперсию вариаций как интегрального, так и приземного влагосодержаний вносят сезонные вариации – 60–70%, мезомасштабные процессы – 7–17%, синоптические – 17–27%. Вклад линейного тренда в общую дисперсию изменчивости влагосодержания атмосферы на территории Европы составляет менее 1%.

Показано, что межгодовая изменчивость влагосодержания атмосферы проявляется как в квазипериодических вариациях среднегодовых значений, так и в вариациях интенсивности синоптических процессов. Установлена нерегулярная когерентность вариаций индексов циркуляции и приземного парциального давления водяного пара на территории Европы с периодами 2–3 года, 5–6, 8–11 и 10–13 лет.

Ключевые слова: интегральное влагосодержание атмосферы, парциальное давление водяного пара, межгодовые процессы, дистанционное зондирование сигналами спутниковых навигационных систем; atmospheric integral moisture content, water vapor partial pressure, interannual processes, remote sensing by satellite navigation systems.

Введение

Водяной пар – один из основных парниковых газов, его пространственно-временная структура тесно связана с радиационным балансом атмосферы и земной поверхности и атмосферной циркуляцией. На формирование пространственно-временных характеристик полей влажности влияют атмосферные процессы различных масштабов, взаимодействующие друг с другом.

В последнее время стала активно развиваться GPS-метеорология, использующая сигналы глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) для оценки интегрального влагосодержания атмосферы (IWV) с высоким пространственно-временным разрешением [1]. Большая часть программ атмосферного мониторинга, разрабатываемых на данный момент международным научным сообществом, предусматривает использование GPS-сигналов, что также свидетельствует о востребованности этой технологии. Множество исследований посвящено сравнению интегрального влагосодержания из аэрологических и ГНСС-измерений для разных географических регионов: Австралии и Антарктиды [2], Швеции [3], Италии [4], США [5], Китая [6, 7], Индии [8]; стандартные отклонения

составляют от 1 до 4 мм осаждаемой воды. Аналогичные оценки точности получаются при сравнении GPS-оценок и данных радиометров [9, 10], что позволяет считать данные ГНСС-мониторинга вполне достоверными.

За последние 15 лет накоплены ряды данных ГНСС-измерений, которые делают возможными исследования трендов интегрального влагосодержания. В [11] рассмотрены многолетние тренды IWV (1996–2010 гг.) над западным побережьем Швеции по данным четырех технологий: микроволнового радиометра, радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами, ГНСС и радиозондов. Во всем ряде обнаружены тренды IWV от 0,3 до 0,5 мм осаждаемой воды за десятилетие. Между синхронизированными наборами данных IWV, которые получены независимыми способами, имеются смещения: радиоинтерферометр – ГНСС 0,39 мм, радиометр – ГНСС 0,4 мм, радиозонд – ГНСС 0,01 мм осаждаемой воды.

В работе [12] исследовано содержание водяного пара с помощью микроволнового радиометра (около г. Берн, Швейцария; 1994–2007 гг.). Данные GPS и радиозонда были использованы для гомогенизации рядов IWV. Показано, что дневной цикл слабый, имеет амплитуду 0,32 мм с максимумом в 21 ч и минимумом в 11 ч UTC. Линейный тренд IWV по данным радиометра положительный и равен 0,39 мм/г. Тренд по данным ближайшей станции радиозондирования составил 0,45 мм/г., по

* Ольга Германовна Хуторова (Olga.Khutorova@kpfu.ru); Владислав Евгеньевич Хуторов (pri870@yandex.ru); Герман Михайлович Тептин.

данным реанализа – 0,25 мм/г., что превышает величины, полученные в [11]. При этом отмечено, что сезонные тренды в 10 раз сильнее. Положительные тренды летом частично компенсируются отрицательными трендами зимой. Отмечается, что для предсказания изменения климата нужны более длинные ряды измерений. В работе [5], по данным ГНСС-сетей США, найдены тренды IWV за 2002–2009 гг. Установлено, что для обнаружения тренда порядка 0,05 мм/г. необходимо 25–30 лет наблюдений.

К сожалению, в большинстве работ по исследованию влагосодержания его изменчивость пытаются представить средними или стационарными процессами: межгодовые процессы – в виде линейного тренда, суточные – в виде среднего суточного хода, сезонные – в виде среднемесячных величин. Мы предлагаем разделить вариации водяного пара с помощью фильтрации по процессам различного масштаба и рассмотреть межгодовые вариации в связи с макроциркуляционными процессами, которые считаются одними из основных факторов формирования климата на планете в целом и в отдельных ее регионах [13–16].

В работе были построены длинные ряды IWV, рассчитанные по ежесекундным наблюдениям ГНСС-приемника в г. Казани [17] и измерениям сети всемирной службы ГНСС 2000–2016 гг. на территории Европы [18]. Синхронно с интегральным влагосодержанием в тех же пунктах оценивалось приземное влагосодержание (парциальное давление водяного пара e) по измерениям относительной влажности и температуры. Все исследуемые ряды приведены к временному разрешению 5 мин.

Мы оценили вклад процессов различного масштаба в общую дисперсию вариаций интегрального и приземного влагосодержания. Для этого путем цифровой фильтрации было выделено несколько групп процессов: среднее и линейный тренд, сезонные вариации, синоптические процессы, мезомасштабные процессы.

Коэффициенты детерминации линейного тренда показали, что в 16-летних рядах он составляет не более 0,4% от общей дисперсии. Абсолютные значения находятся в пределах от 0,04 до 0,3 мм

в год для интегрального влагосодержания, что согласуется с работами [11, 12].

Так как сезонные вариации влагосодержания обусловлены ходом метеопараметров из-за вращения Земли вокруг Солнца, то их можно описать суммой годовой и полугодовой гармоник. Для их фильтрации применялся гармонический анализ [19]. Коэффициент детерминации показал, что их вклад в общую дисперсию влагосодержания составляет от 57 до 70% в зависимости от пункта. Фильтрация межгодовых и сезонных вариаций в рядах средне-суточных значений позволила оценить долю синоптических вариаций в общей дисперсии – 20–25%. Доля мезомасштабных вариаций с периодами от 10 мин до 10 ч была оценена путем фильтрации с помощью скользящего среднего – 10–17%. Закономерности оказались общими для интегрального и приземного влагосодержаний.

В табл. 1 приведены результаты одновременных измерений интегрального и приземного влагосодержаний с временным шагом 5 мин.

Оценки, полученные нами, также подтверждают, что линейные тренды, как и характеристика межгодовой изменчивости влагосодержания атмосферы, не дают адекватной картины. Кроме того, в отличие от других работ, мы исследовали спектр вариаций в области меньших временных масштабов (синоптических и мезомасштабных).

Практическое значение этого результата в том, что мезомасштабные поля влагосодержания могут обуславливать несовпадение данных модельных и экспериментальных радиационных расчетов или точность в задачах переноса примесей как минимум на 7–10%. Например, в работах [20–22] рассмотрена актуальность выявления закономерностей возникновения и развития мезомасштабных процессов в атмосфере. В [20, 21] показано, что использование в расчетах заниженных или завышенных значений содержания H_2O в атмосфере приводит к ошибкам при расчете потоков нисходящей радиации, которые могут достигать десятков процентов. В [22] проанализирована связь мезомасштабных вариаций концентрации атмосферных примесей с вариациями метеопараметров, в т.ч. влажности.

Таблица 1

Характеристики рядов интегрального и приземного влагосодержаний и вклад различных процессов в их дисперсию

Пункт	Среднее	СКО	Коэффициент детерминации линейного тренда	Коэффициент детерминации сезонных вариаций	Доля синоптических процессов в общей дисперсии	Доля мезомасштабных процессов в общей дисперсии
IWV						
Потсдам (Германия)	15,3 мм	8,2 мм	0,001	0,60	0,21	0,17
Звенигород (Россия)	14	8,6	0,003	0,61	0,23	0,11
Ольштын (Польша)	15,1	8,4	0,004	0,57	0,26	0,12
e						
Потсдам (Германия)	9,4 мбар	4,0 мбар	0,001	0,61	0,20	0,12
Звенигород (Россия)	8,2	4,9	0,003	0,70	0,20	0,07
Ольштын (Польша)	10,7	5,9	0,001	0,62	0,17	0,12

Синоптические процессы в вариациях влагосодержания атмосферы занимают значительную долю, причем эти вариации нельзя считать стационарными. В связи с этим удачный инструмент для отслеживания изменчивости спектра во времени – вейвлет-анализ с материнской функцией Морле [22].

На рис. 1 представлены фрагмент ряда интегрального влагосодержания атмосферы и его вейвлет-спектр для г. Казани за 2009–2015 гг. Градациями серого цвета показаны модули вейвлет-коэффициентов, максимальные значения которых соответствуют амплитудам особо значительных вариаций IWV (белый цвет – минимальное значение коэффициентов, черный – максимальное).

Синоптические флуктуации поля IWV составляют в среднем 2–5 мм осажденной воды, иногда достигая 12 мм. В спектрах синоптических вариаций присутствуют значимые моды 3–4, 7–10, 11–14, 20–30 и 40–45 сут. Видно, что интенсивность синоптических вариаций для всех исследуемых параметров модулируется гармониками годового хода. Обнаружено, что в исследуемых временных рядах преобладают волновые вариации с периодами от 3 до 10 сут, которые характерны для волн Россби. Однако более мощными, хотя и более редкими, являются вариации с периодами от 15 до 45 сут. Амплитуды вариаций IWV растут от 1 до 4 мм осажденной воды. Интенсивность синоптических процессов в рядах интегрального влагосодержания меняется год от года. Поскольку синоптические процессы, безусловно, определяются атмосферной циркуляцией [14], то можно предположить, что межгодовые вариации атмосферного влагосодержания будут связаны с преобладанием тех или иных механизмов циркуляции в разные годы.

Однако 15-летние ряды недостаточно длинные, чтобы выявить долгопериодные вариации влагосодержания, поэтому мы решили взять более длинные ряды приземного влагосодержания, которое оценивалось по метеопараметрам [23]. По результатам восьмисрочных измерений относительной влажности и температуры был получен ряд парциального давления водяного пара за 1966–2015 гг.

Мы исследовали вариации интегрального влагосодержания и сравнили их с вариациями приземного парциального давления водяного пара, измеренными в тех же пунктах с той же временной дискретностью. Было обнаружено, что сезонные, синоптические и даже мезомасштабные вариации интегрального и приземного влагосодержаний синхронны (рис. 2). Видно, что в течение месяца наблюдений вариации когерентны. Коэффициент корреляции этих рядов 0,86. Коэффициент корреляции 16-летних рядов среднемесячных значений IWV и приземного парциального давления водяного пара для того же пункта равен 0,94. Этот факт позволяет предположить, что и основные закономерности вариаций интегрального и приземного влагосодержаний будут сходными. Поэтому для анализа межгодовых процессов мы использовали ряды приземного парциального давления водяного пара длительностью не менее 50 лет.

Среднегодовые величины приземного влагосодержания на территории Европы меняются от 2 до 8 мбар в зависимости от широты, что связано как с притоком солнечной радиации, так и с влиянием влажных воздушных масс. Амплитуды годового хода приземного парциального давления водяного пара составляют 2,5–10 мбар, интегрального – 3–7 мм осажденной воды.

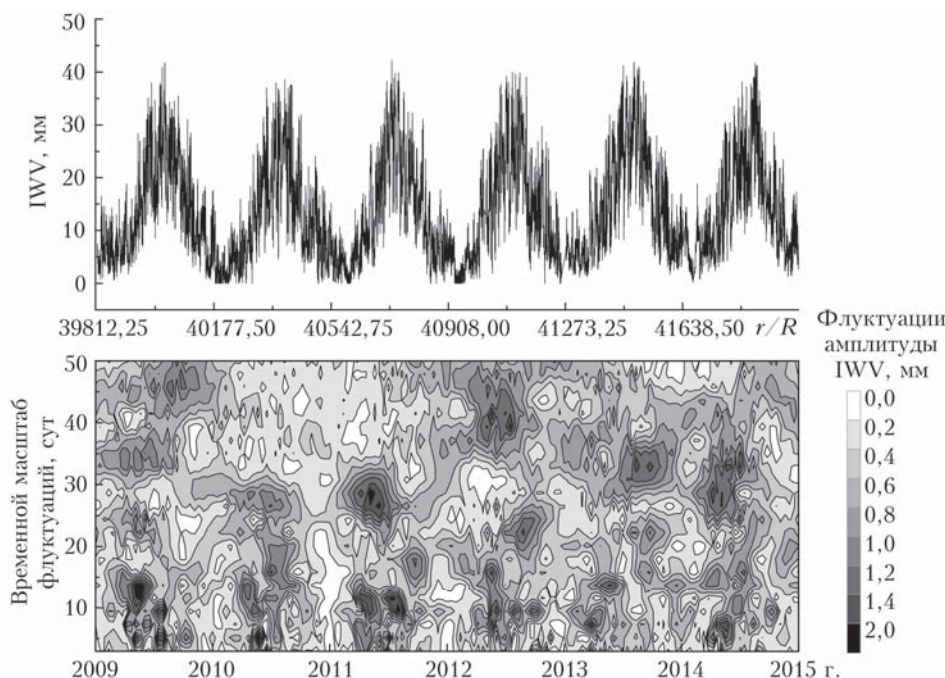


Рис. 1. Ряд интегрального влагосодержания атмосферы и его вейвлет-спектр по измерениям приемников ГНСС в г. Казани за 2009–2015 гг.; ось y представляет собой ось масштабов вейвлет-преобразования, соответствующих периодам вариаций от 1 до 50 сут

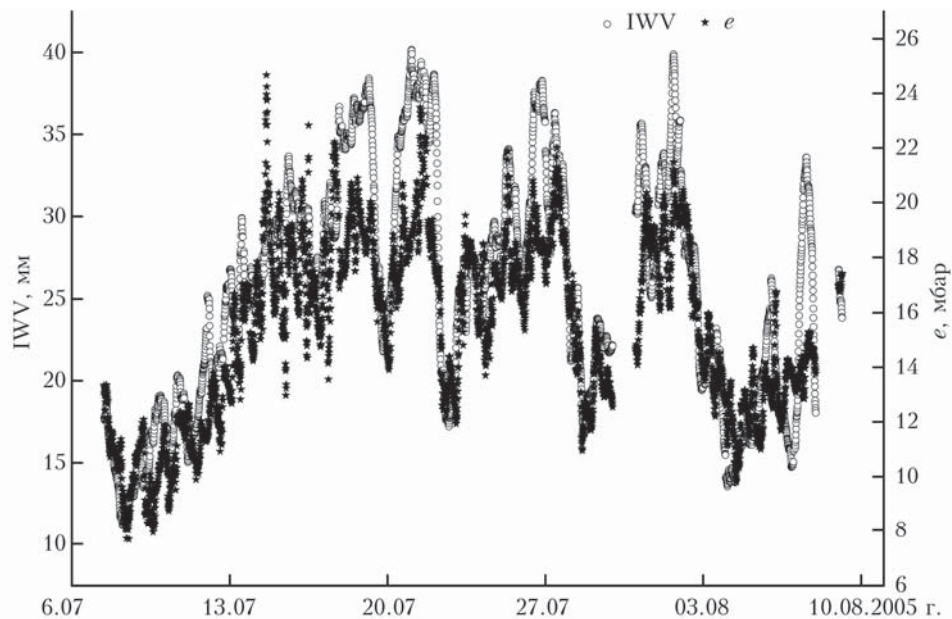


Рис. 2. Синхронность вариаций интегрального и приземного влагосодержаний (г. Звенигород)

Межгодовая изменчивость самых мощных сезонных вариаций была проанализирована с помощью оценки амплитуды годовой гармоники внутри скользящего годового временного окна с шагом в полгода.

На рис. 3 представлены межгодовые вариации амплитуд годового хода для нескольких пунктов европейской части России и их линейные тренды. Видно, что амплитуды годовой гармоники в среднем увеличиваются со временем, но угол наклона тренда меняется в зависимости от расположения пунктов и континентальности их климата. Межгодовые вариации влагосодержания атмосферы можно описать как локально квазипериодические.

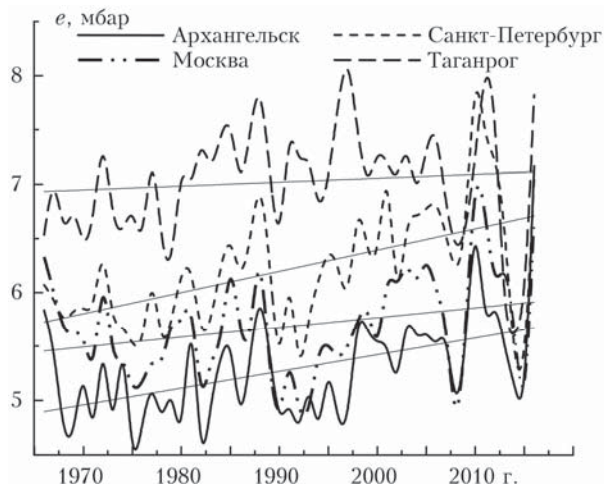


Рис. 3. Межгодовые вариации амплитуды годовой гармоники приземного парциального давления водяного пара для различных пунктов

При подробном анализе видно, что начиная с 2000 г. тенденции к росту амплитуд не наблюда-

ется. Сравнение межгодовых вариаций IWV и парциального давления водяного пара в приземном слое за 2000–2016 гг. в тех же пунктах выявило, что они синхронны.

В работах [23–28] показана связь глобальной циркуляции и климата. В нашем исследовании рассмотрена когерентность межгодовых вариаций парциального давления водяного пара с макроциркуляционными процессами. В качестве характеристик состояния атмосферной циркуляции использовались телеконнекционные индексы, полученные в результате разложения поля геопотенциала с использованием метода эмпирических ортогональных функций [29]. Показано, что индекс Североатлантического колебания (NAO) связан с переносом осадков на территории Европы [23], интенсивностью циклонической активности [25, 26]. Индекс EA/WR (колебание Восточная Атлантика – Западная Россия) связан с интенсивностью и траекториями циклонов на территории Европы [27]. Индекс Арктического колебания (АО) отражает аномалии глобальной циркуляции в Северном полушарии [28, 29]. Мы добавили к анализу индекс аномалий температуры поверхности океана, связанный с процессами Эль-Ниньо, так как отмечено [30], что это явление оказывает влияние на динамику всей климатической системы планеты в масштабах декады и более.

Мы искали когерентные события одинаковых временных масштабов в рядах влагосодержания и индексов циркуляции с помощью анализа их вейвлет-спектров. Последний, полученный с помощью материнской функции Морле, выделяет квазипериодический сигнал нужного временного масштаба и локализует его амплитуду и фазу во времени (метод развит в [22] для поиска когерентных вариаций в рядах атмосферных параметров и примесей).

В полученных вейвлет-спектрах, привязанных к одному периоду времени, выбраны значимые

с вероятностью не менее 90% возмущения, выявленные одновременно в рядах влагосодержания и индексов циркуляции. Главный критерий отбора когерентных вариаций — распределение разности фазовых спектров для данного временного масштаба — имеет узкий максимум в течение времени превышения их амплитудными спектрами 90%-го уровня значимости. Постоянство фазовых характеристик свидетельствует о когерентных процессах, причем вейвлет-преобразование локализует эти процессы во времени. Таким образом, устанавливались периоды вариаций, их амплитуды и временная привязка.

Почти во всех исследованных пунктах на территории Европы обнаружены синхронные вариации с периодом 8–11 лет, когерентные с подобными вариациями индекса АО (1967–2000 гг.), находящимися в фазе с ними. Это хорошо объясняется тем, что АО отражает перенос воздушных масс между полярными районами и средними широтами. Считается, что при положительных значениях индекса АО преобладают западные ветры, несущие теплый и влажный воздух в Евразию. В периоды отрицательных значений наблюдаются похолодание и уменьшение количества осадков. Наиболее сильно влияние АО выражено в зимнее время [28].

Установлена когерентность вариаций индексов циркуляции (АО, NAO, EA/WR) и приземного парциального давления водяного пара на территории Европы с периодами 2–3 года и 5–6 лет. Аналогичные синхронные вариации были выявлены в индексе аномалий температуры поверхности океана, связанном с явлением Эль-Ниньо. При этом обнаружено, что амплитуда этих вариаций меняется с периодом примерно 10–12 лет. Когерентность нерегулярная, она возникает, существует в течение нескольких периодов, затем пропадает. Масштаб колебаний 2–3 года близок к периоду квазидвухлетней осцилляции, наблюдающейся в стратосфере, которая, как полагают, связана с солнечной активностью [31]. Считается, что квазидвухлетние колебания образуются благодаря внутренним волнам, распространяющимся из экваториальной области тропосферы вверх. Квазидвухлетняя цикличность — глобальное явление, охватывающее тропосферу, стратосферу и термосферу не только экваториальных, но и полярных регионов [32].

Обнаружена кратковременная (1990–2016 гг.) когерентность вариаций с периодом 10–13 лет для приземного парциального давления водяного пара в некоторых пунктах Европы, индексов NAO и величины аномалий температуры поверхности океана, связанной с явлением Эль-Ниньо. Колебания приземного парциального давления водяного пара находятся в противофазе как с колебаниями индекса NAO, так и с аномальными вариациями температуры поверхности океана.

Результаты показывают явную связь вариаций атмосферной циркуляции с межгодовой изменчивостью влагосодержания на территории Европы, взаимосвязь экваториальных и среднеширотных процессов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-05-00863)

1. *Bevis M., Businger S., Herring T.A., Rocken C., Anthes A.* GPS meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using the Global Positioning System // *J. Geophys. Res. D.* 1992. V. 97, N 14. P. 15787–15801.
2. *Glowacki J., Penna N.T., Bourke W.P.* Validation of GPS-based estimates of integrated water vapor for the Australian region and identification of diurnal variability // *Aust. Met. Mag.* 2006. V. 55. P. 131–148.
3. *Ning T., Haas R., Elgered G., Willén U.* Multi-technique comparisons of 10 years of wet delay estimates on the west coast of Sweden // *J. Geodesy.* 2012. V. 86, iss. 7. P. 565–575.
4. *Pacione R., Fionda E., Ferrara R.* Comparison of atmospheric parameters derived from GPS, VLBI and a ground-based microwave radiometer in Italy // *Phys. Chem. Earth.* 2002. V. 27. P. 309–316.
5. *Roman J.A., Knuteson R.O., Ackerman S.A., Tobin D.C., Revercomb H.E.* Assessment of regional global climate model water vapor bias and trends using precipitable water vapor observations from a Network of Global Positioning Satellite Receivers in the U.S. Great Plains and Midwest // *J. Clim.* 2012. V. 25. P. 5471–5493.
6. *Guoping L., Dingfa H., Biquan L.* Experiment on driving precipitable water vapor from ground-based GPS Network in Chengdu Plain // *Geo-Spat. Inf. Sci.* 2007. V. 10. P. 181–185.
7. *Shuanggen J., Li Z., Choa J.* Integrated water vapor field and multiscale variations over China from GPS measurements // *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 2000. V. 47. P. 3008–3015.
8. *Raju S., Saha K., Bijoy V.T.* Measurement of integrated water vapor over Bangalore using ground based GPS data // *Proc. URSI General Assembly. New Delhi,* 2005. P. 20–24.
9. *Sapucci L., Machado L., Monico J.* Intercomparison of integrated water vapor estimates from multisensors in the Amazonian region // *J. Atmos. Ocean. Technol.* 2007. V. 24. P. 1880–1894.
10. *Jakobson E., Ohvriil H., Elgered G.* Diurnal variability of precipitable water in the Baltic region, impact on the transmittance of the direct solar radiatio // *Boreal Environ. Res.* 2009. V. 14. P. 45–55.
11. *Haas R., Ning T., Elgered G.* Long-term trends in the amount of atmospheric water vapour derived from space geodetic and remote sensing techniques // *ESA Proc. WPP 326: Proc. 3rd International Colloquium on Scientific and Fundamental Aspects of the Galileo Program.* 31 August – 2 September, 2011. Denmark, Copenhagen.
12. *Morland J., Collaud Coen M., Hoche K.* Tropospheric water vapor above Switzerland over the last 12 years // *Atmos. Chem. Phys.* 2009. V. 9. P. 5975–5988.
13. *Курбаткин Г.П., Смирнов В.Д.* Межгодовые вариации температуры тропосферы, связанные с декадными изменениями Североатлантического колебания // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана.* 2010. Т. 46, № 4. С. 435–447.
14. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Аухадеев Т.Р., Исмагилов Н.В., Занди Р.* О влиянии макроциркуляционных систем на термобарический режим Приволжского федерального округа // *Учен. зап. Казанского ун-та.* 2014. Т. 156, кн. 2. С. 156–169.
15. *Канухина А.Ю., Нечаева Л.А., Погорельцев А.И., Суворова Е.В.* Климатические тренды температуры, зонального потока и стационарных планетарных волн

- по данным NCEP/NCAR реанализа // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2007. Т. 43, № 6. С. 754–763.
16. Суковатов К.Ю., Безуглова Н.Н. Когерентные колебания атмосферных осадков холодного сезона на территории Ишимской равнины и индексов атмосферной циркуляции // Метеорол. и гидрол. 2015. № 1. С. 18–26.
 17. Хуторова О.Г., Калинин В.В., Курбангалиев Т.Р. Вариации интегрального атмосферного влагосодержания, полученные по фазовым измерениям приемников спутниковых навигационных систем // Оптика атмосфер. и океана. 2012. Т. 25, № 6. С. 529–533; *Khutorova O.G., Kalinnikov V.V., Kurbangaliev T.R.* Variations in the atmospheric integrated water vapor from phase measurements made with receivers of satellite navigation systems // *Atmos. Ocean. Opt.* 2012. V. 25, N 6. P. 429–433.
 18. *Всемирная служба ГНСС* [Электронный ресурс]. URL: <http://igsceb.jpl.nasa.gov/> (дата обращения: 13.06.2017).
 19. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения: в 2 т. М.: Мир, 1971. Т. 1, 312 с. Т. 2, 228 с.
 20. Журавлева Т.Б., Фирсов К.М. Об изменчивости радиационных характеристик при вариациях водяного пара в атмосфере в полосе 940 нм: результаты численного моделирования // Оптика атмосфер. и океана. 2005. Т. 18, № 9. С. 777–784.
 21. Чеснокова Т.Ю., Журавлева Т.Б., Воронина Ю.В., Складнева Т.К., Ломакина Н.Я., Ченцов А.В. Моделирование потоков солнечного излучения с использованием высотных профилей концентрации водяного пара, характерных для условий Западной Сибири // Оптика атмосфер. и океана. 2011. Т. 24, № 11. С. 969–975; *Chesnokova T.Yu., Zhuravleva T.B., Voronina Yu.V., Sklyadneva T.K., Lomakina N.Ya., Chentsov A.V.* Simulation of solar radiative fluxes using altitude profiles of water vapor concentration, characteristic for conditions of Western Siberian // *Atmos. Ocean. Opt.* 2012. V. 25, N 2. P. 147–153.
 22. Хуторова О.Г., Тептин Г.М. Исследование мезомасштабных волновых процессов в приземном слое по синхронным измерениям атмосферных параметров и примесей // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2009. Т. 45, № 5. С. 588–596.
 23. Булыгина О.Н., Веселов В.М., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620549 [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.ru/data/163-basic-parameters#> описание-массива-данных (дата обращения: 15.06.2017).
 24. Ruprecht E., Schröder S.S., Ubl S. On the relation between NAO and water vapour transport toward Europe // *Meteorol. Z.* 2002. V. 11, N 6. P. 395–401.
 25. Бардин М.Ю., Полонский А.Б. Североатлантическое колебание и синоптическая изменчивость в Европейско-Атлантическом регионе в зимний период // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2005. Т. 41, № 2. С. 3–13.
 26. Мохов И.И., Семенов В.А., Хон В.Ч., Латиф М, Рекнер Э. Связь аномалий климата Евразии и Северной Атлантики с естественными вариациями атлантической термохалинной циркуляции по долгопериодным модельным расчетам // Докл. АН. 2008. Т. 419, № 5. С. 687–690.
 27. Franzke C., Feldstein S.B. The continuum and dynamics of Northern hemisphere teleconnection patterns // *J. Atmos. Sci.* 2005. V. 62, N 9. P. 3250–3267.
 28. Thompson D.W.J., Wallace J.M. The Arctic oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields // *Geophys. Res. Lett.* 1998. V. 25, N 9. P. 1297–1300
 29. Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // *Mon. Weather Rev.* 1987. V. 115. P. 1083–1126.
 30. Terray P. Southern hemisphere extra-tropical forcing: A new paradigm for El Niño-Southern Oscillation // *Clim. Dyn.* 2011. V. 36, N 11–12. P. 2171–2199.
 31. Baldwin M.P., Gray L.J., Dunkerton T.J., Hamilton K., Haynes P.H., Randel W.J., Holton J.R., Alexander M.J., Hirota I., Horinouchi T., Jones D.B.A., Kinnersley J.S., Marquardt C., Sato K., Takahashi M. The quasi-biennial oscillation // *Rev. Geophys.* 2001. V. 39, N 2. P. 179–229.
 32. Безверхний В.А., Груздев А.Н. О связи квазидесятилетних и квазидвухлетних колебаний солнечной активности и экваториального стратосферного ветра // Докл. АН. 2007. Т. 415, № 6. С. 809–813.

O.G. Khutorova, V.E. Khuturov, G.M. Teptin. Interannual variability of surface and integral moisture content in the European territory and atmospheric circulation.

The variability of time series of the integral moisture content of the atmosphere and the surface partial pressure of water vapor for the territory of Europe over a long period have been studied. The main contribution to variance of moisture contents is given by seasonal variations; it is 60–70%. Mesoscale processes give 7–17%; synoptic processes give 17–27%. The linear trend contributes less than 1% to the overall variance of the variability of the atmospheric moisture content in Europe.

It is shown that the interannual variability of the atmospheric moisture content is manifested both in the quasiperiodic variability of the annual mean values and in the variations in the intensity of the synoptic processes. The irregular coherence of variations in the circulation indices and surface partial pressure of water vapor in Europe with periods of 2–3 years, 5–6, 8–11, and 10–13 years is established.