

## Исследование многолетней динамики пространственно-временного распределения облачных систем по данным специализированных космических аппаратов

И. П. Расторгуев<sup>1</sup>, Л. М. Акимов<sup>2</sup>✉, А. С. Божко<sup>1</sup>

<sup>3</sup>Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Российская Федерация  
(394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54)

<sup>2</sup>Воронежский государственный университет, Российская Федерация  
(394068, г. Воронеж, ул. Хользунова, 40)

**Аннотация:** Цель – определение закономерностей перемещения облачных систем над европейской территорией России (ЕТР) на основе данных наблюдений со специализированных космических аппаратов.

**Материалы и методы.** В процессе проведения исследования использовались ежечасные аналоговые спутниковые снимки ЕТР и прилегающих территорий. Основные методы исследования – графоаналитический и экспертных оценок.

**Результаты и обсуждение.** Получены повторяемости направлений переноса облачных систем в различные сезоны года для различных районов на ЕТР. Выявлены некоторые особенности динамики облачных систем последних лет. Отмечена значительная повторяемость нехарактерных ранее преобразований облачных систем.

**Выводы.** Показана целесообразность использования космических методов исследования облачных систем и особенностей циркуляции атмосферы.

**Ключевые слова:** облачные системы, метеорологические космические аппараты, специализированная спутниковая информация, атмосферная циркуляция, синоптические процессы.

**Для цитирования:** Расторгуев И. П., Акимов Л. М., Божко А. С. Исследование многолетней динамики пространственно-временного распределения облачных систем по данным специализированных космических аппаратов // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2022, № 2, с. 78-88. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2022.2/9313>

### ВВЕДЕНИЕ

Глобальные климатические изменения в настоящее время являются общепризнанным в научном и профессиональном сообществе фактом [6]. Пока продолжается научная полемика о причинах, механизмах и последствиях данных изменений, расширяется ареал их распространения, увеличивается частота и интенсивность, вызванных данными изменениями аномальных проявлений состояния окружающей среды [5, 16]. В частности, наблюдается отрицательная динамика воздействия опасных явлений погоды и неблагоприятных метеорологических условий на безопасность и эффективность применения авиации.

С изменениями климата связано пространственно-временное распределение характеристик атмосферной циркуляции [3]. В свою очередь, под воздействием тропосферной циркуляции формируются метеорологические условия, в том числе опасные явления погоды. Таким образом, долгосрочные климатические изменения влияют на повторяемость различных типов и явлений погоды краткосрочного масштаба.

В условиях развития космических технологий в метеорологии [11] представляется целесообразным использование учащенных наблюдений с метеорологических космических аппаратов, для оценки направления и скорости перемещения метеорологиче-

© Расторгуев И. П., Акимов Л. М., Божко А. С., 2022

✉ Акимов Леонид Мусамудинович, e-mail: [akl63@bk.ru](mailto:akl63@bk.ru)



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

ских и синоптических объектов, и их динамики, за периоды времени, сопоставимые с периодами оценки изменений климата. «В качестве стандартного периода для оценивания климатических переменных, характеризующих текущий или современный климат, по рекомендации Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) используется период в 30 лет. В настоящее время это 1961 – 1990 годы» [4].

Новый этап развития синоптической метеорологии начался с активным применением данных со специализированных космических аппаратов [9, 17, 18, 20, 21]. Дальнейшее развитие космические методы в метеорологии получили с появлением цифровых технологий обработки изображений с метеорологических космических аппаратов (КА) [1, 6, 8, 10, 11, 15, 19]. Однако и применение аналоговых снимков в настоящее время не исчерпало себя. Развитие технологий интерпретации аналоговых изображений метеорологических и синоптических объектов вызвано их доступностью, отсутствием необходимости в специализированном программном обеспечении и низкой дискретностью при высокой разрешающей способности и относительно небольшом объеме исходных данных. В качестве примеров использования аналоговой спутниковой информации для анализа и прогноза облачности и явлений погоды можно привести методики, представленные в работах [2, 12-14].

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В развитие представленных подходов, представляется перспективным использование ежедневных аналоговых снимков для отслеживания перемещения, эволюции облачных систем и тенденций их изменения в климатическом контексте.

В рамках исследования по проверке указанного предположения в пределах и на границах квазиоднородного климатического региона центра ЕТР [7] были выбраны пять реперных пунктов: Москва (М), Архангельск (А), Казань (Кз), Ростов-на-Дону (Р) и Калининград (Кл), являющиеся репрезентативными для центральной части, северной, восточной, южной и западной периферии региона, соответственно (рис. 1).

Выбранные пункты существенно отличаются не только по расположению в географическом пространстве (максимальное расстояние в меридиональном направлении составляет более 1900 км, в широтном направлении – 1800 км), но и удаленностью от крупномасштабных водных объектов и горных систем, а значит и степенью континентальности климата и особенностями мезомасштабных циркуляций. В то же время физи-

ко-географические условия в районе данных пунктов отражают характерные черты окружающей местности.

В качестве спутниковой информации использовались анимированные ежечасные аналоговые спутниковые снимки за 2018-2020 годы, представленные в свободном доступе на сайте Европейской организации по эксплуатации метеорологических спутников (EUMETSAT – <https://www.eumetsat.int>). Для анализа многолетней тенденции в характере перемещения и эволюции облачных систем использовались оцифрованные с пленочных носителей иррегулярные (с дискретностью 2-6 часов) снимки за 1973-1975 годы.

На начальном этапе рассматривались шести-, двенадцатичасовые и суточные интервалы для оценки перемещения и эволюции облачных образований по последовательным спутниковым снимкам. В дальнейшем было установлено, что оптимальным интервалом являются полусуточные периоды наблюдений: за шесть часов не во всех случаях представляется возможным достоверно определить исследуемые характеристики, а в пределах суток они могут измениться по несколько раз. Из рассмотрения исключались случаи с неполными рядами данных и невыраженные или неустойчивые ситуации – таковых оказалось около 10 % в сплошных рядах спутниковых данных.

В процессе анализа перемещения облачных систем выделялись следующие направления выноса (процесса переноса): три зональных (западный – 31, северо-западный – 32, юго-западный – 33), три с восточной составляющей (восточный – В1, северо-восточный – В2, юго-восточный – В3), два меридиональных (южный – М1 и северный – М2), а также два стационарных процесса (циклонический – С1 и антициклонический – С2). За искомое направление принималось «метеорологическое» направление – «откуда дует».

Тип процесса определялся по преобладающему направлению переноса над каждой из реперных точек и, в дополнение, усреднялся по всему району. Направление переноса определялось по нескольким выраженным структурным (центр облачной спирали, вершина волны, передняя и тыловая граница облачной полосы) и текстурным (ячейки, волокна, микрополосы) элементам на спутниковом снимке. За один час такие элементы значительно не видоизменялись и не перемещались на значительное расстояние, поэтому однозначно идентифицировались. При размывании признаков выделенных элементов, выбирались

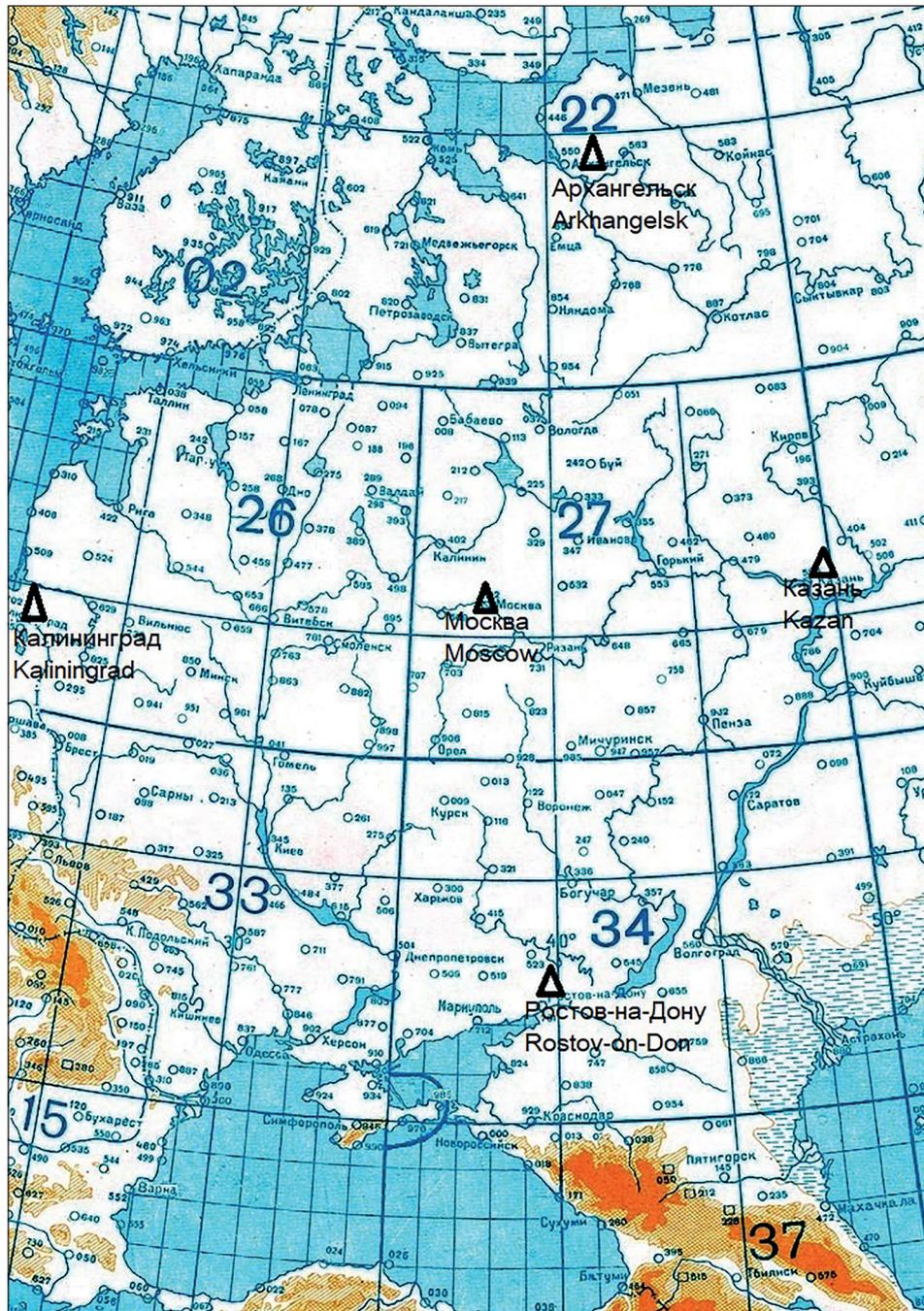


Рис. 1. Реперные пункты в географическом пространстве  
[Fig. 1. Repertory points in geographical space]

новые признаки с более выраженными индивидуальными отличительными параметрами (форма, яркость). В дальнейшем, при необходимости, процесс повторялся. В качестве примера рассмотрим изображение на рисунке 2.

Точками на рисунке показаны реперные пункты, стрелками – направление перемещения облачности в районе каждого пункта. На рисунке 2а показано распределение облачности в начальный момент времени, на 2б – через 12 часов. Над центром рассматриваемой территории

наблюдается пространство без фронтальных облаков с циркуляцией на периферии «по часовой стрелке». По наличию несплошной внутримассовой облачности слоистообразных форм (матовая текстура) и уменьшению площади, занимаемой данным образованием, делаем вывод, что в центральной точке (Москва) наблюдается центральная часть квазистационарного антициклона в завершающей стадии развития, заполненной воздухом влажной устойчивой воздушной массы (процесс С2).

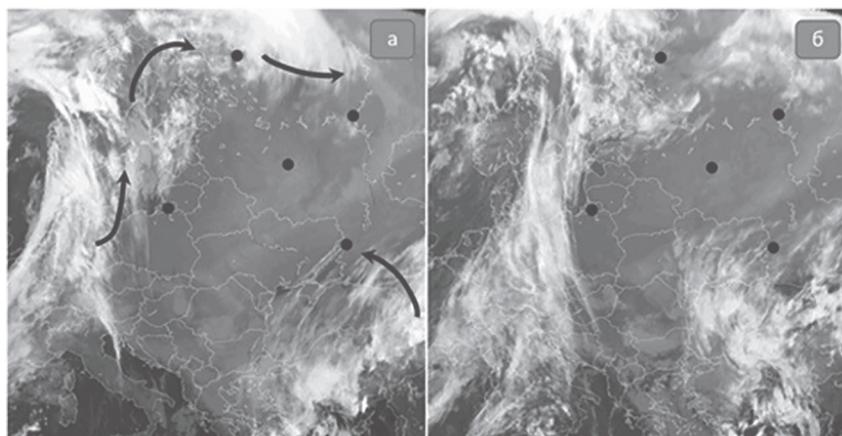


Рис. 2. Пример изменения облачных систем над рассматриваемой территорией за двенадцатичасовой период [Fig. 2. An example of changes in cloud systems over the territory under consideration for a twelve-hour period]

Западнее Калининграда, в непосредственной близости от станции, наблюдается облачная система арктического холодного фронта с волнами, которая, приближаясь к исследуемому району, в результате взаимодействия с западной периферией антициклона утрачивает поступательное движение с запада на восток и начинает движение в «параллельных потоках» с юга на север (M1).

В районе Архангельска наблюдалось перемещение размытой облачности арктического холодного фронта на фоне промежуточного гребня, выдерживая в целом западно-восточное направление (31).

По северу-востоку от Казани, с северо-запада на юго-восток перемещается облачная система теплого фронта. И несмотря на то, что облачность непосред-

ственно над реперным пунктом размыта (вследствие значительного удаления от циклонического вихря), процесс соответствует критериям типа 32.

С юга, на Ростов-на-Дону, перемещается облачность теплого фронта полярной системы – процесс M1.

Из приведенного примера наглядно видно насколько разнообразен, может быть перенос облачных образований на рассматриваемой территории в единый период времени.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты расчетов по каждому пункту и усредненные по всему региону представлены в таблице 1.

Таблица 1

Повторяемости направлений выноса облачности, (%)  
[Table 1. Recurrence of directions of cloud removal, (%)]

Процессы / Processes	Индекс / Index	Москва / Moscow	Архангельск / Arkhangelsk	Казань / Kazan	Ростов / Rostov	Калининград / Kaliningrad	Среднее / Average
Западный / Western	<b>31</b>	25,2	28,1	21,3	19,6	36,4	26,1
Северо-западный / Northwest	<b>32</b>	8,4	11,0	6,7	9,1	10,2	9,1
Юго-западный / Southwest	<b>33</b>	24,5	26,2	29,4	33,4	18,4	26,4
Южный / South	<b>M1</b>	9,6	9,1	8,6	9,6	3,6	8,1
Северный / Northern	<b>M2</b>	2,2	8,4	3,9	1,3	5,5	4,2
Восточный / Eastern	<b>B1</b>	2,4	1,3	0,9	3,0	5,3	2,6
Северо-восточный / Northeast	<b>B2</b>	4,4	2,2	1,9	3,3	2,4	2,8
Юго-восточный / South-east	<b>B3</b>	1,3	3,4	4,4	0,0	1,1	2,0
Стационарный Zn / Stationary Zn	<b>C1</b>	10,3	7,6	12,9	8,4	8,8	9,6
Стационарный Az / Stationary Az	<b>C2</b>	11,7	2,8	10,1	12,3	8,2	9,0

В целом над рассматриваемой территорией наблюдается ярко выраженное преобладание западного и юго-западного выноса. В совокупности эти два процесса составляют более половины от всех случаев.

Если рассматривать повторяемости переноса облачных систем над отдельными пунктами, то необходимо отметить выраженное преобладание процесса З3 в Ростове-на-Дону (каждый третий случай) и З1 в Калининграде (более трети случаев). Южные потоки распределены равномерно по всей террито-

рии, за исключением западных окраин (наблюдается в 2-3 раза реже). Северные вторжения наиболее часты по северу (в два раза чаще, чем в среднем по территории). Повторяемость выносов с восточной составляющей не достигает в сумме 9 %, а отдельные процессы по югу и востоку практически не наблюдаются, что связано с положением гребня (западной периферии) Сибирского максимума.

Приведенные годовые повторяемости процессов не отражают особенности распределения направлений переноса по сезонам (табл. 2).

Таблица 2

Повторяемости направлений выноса облачности по сезонам, (%)  
[Table 2. Frequency of cloud removal directions by seasons, (%)]

Месяц / Month	Июль / July						Октябрь / October						Январь / January					
Процессы / Processes	М	А	Кз	Р	Кл	Ср.	М	А	Кз	Р	Кл	Ср.	М	А	Кз	Р	Кл	Ср.
<b>З1</b>	14,3	21,4	0,0	0,0	35,7	<b>14,3</b>	18	22,9	18,3	18,2	9,1	<b>17,3</b>	21,4	28,8	14,3	42,7	7,1	<b>22,9</b>
<b>З2</b>	0,0	0,0	14,4	21,4	7,2	<b>8,6</b>	4,5	50,2	13,6	9,1	4,5	<b>16,4</b>	14,3	21,5	0,0	0,0	35,7	<b>14,3</b>
<b>З3</b>	7,1	42,7	21,6	42,9	35,7	<b>30,0</b>	18,2	4,7	13,6	27,3	22,7	<b>17,3</b>	50	35,5	64,3	35,9	14,3	<b>40,0</b>
<b>М1</b>	6,9	21,4	7,3	0,0	0,0	<b>7,1</b>	18,2	0,0	4,3	9,3	13,6	<b>9,1</b>	0,0	7,3	0,0	6,9	7,1	<b>4,3</b>
<b>М2</b>	0,0	0,0	7,1	0,0	0,0	<b>1,4</b>	4,5	8,7	18,2	4,5	9,4	<b>9,1</b>	0,0	6,9	0,0	0,3	14,3	<b>4,3</b>
<b>В1</b>	7,4	0,0	6,9	0,0	21,4	<b>7,1</b>	4,5	4,4	0,0	0,0	13,7	<b>4,5</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>
<b>В2</b>	0,0	0,0	0,0	14,3	0,0	<b>2,9</b>	9,1	4,6	0,2	4,3	4,5	<b>4,5</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>
<b>В3</b>	0,0	14,5	14,2	0,0	0,0	<b>5,7</b>	4,5	0,0	0,0	0,0	9,2	<b>2,7</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>
<b>С1</b>	28,6	0,0	7,0	7,2	0,0	<b>8,6</b>	9,4	4,5	22,7	4,6	8,7	<b>10,0</b>	0,0	0,0	0,0	7,2	14,2	<b>4,3</b>
<b>С2</b>	35,7	0,0	21,5	14,2	0,0	<b>14,3</b>	9,1	0,0	9,1	22,7	4,6	<b>9,1</b>	14,3	0,0	21,4	7,0	7,3	<b>10,0</b>

Из приведенных данных по средним месяцам сезонов отчетливо видно, что резко выражены отличия в повторяемости как по пунктам, так и по направлениям переноса. Некоторые процессы не наблюдались за рассматриваемый период, в то же время по отдельным направлениям повторяемости достигали 50 %. Особенно показательны в этом отношении данные за январь: перенос облачных систем из направлений с восточной составляющей не наблюдался ни по одному из рассматриваемых пунктов.

Учитывая, что с перемещением облачности тесно увязаны вопросы циркуляции в средней тропосфере, по приведенным данным можно судить и о изменчивости ведущего потока над рассматриваемой территорией. При этом необходимо учитывать, что по аналоговым спутниковым снимкам не представляется возможным отслеживание переноса при отсутствии продуктов конденсации. Этим отчасти объясняется заниженное выявление переноса с востока (в области сухого континентального воздуха) – отдельные такие случаи при

слабо выраженной циркуляции отнесены к стационарным антициклоническим ситуациям.

Для оценки многолетней динамики характеристик перемещения облачных систем было проведено сравнение со спутниковыми данными за 1973-1975 годы. Обобщенные за год сравнительные данные представлены на рисунке 3.

При сохранении основных закономерностей в характере перемещения облачных систем над ЕТР, следует отметить ряд существенных изменений: смещение максимумов повторяемости перемещения с западно-северо-западных (показаны пунктиром на рисунке 3а) на западно-юго-западные направления; увеличение стационарных состояний (рис. 3б) с незначительным смещением в сторону антициклонических циркуляций; уменьшение непрерывной продолжительности направлений переноса – более частая смена процесса.

В сезонных изменениях следует отметить следующее особенности, значимые для анализа и прогноза метеорологических условий: увеличение скоростей переноса в зимний и ранневе-

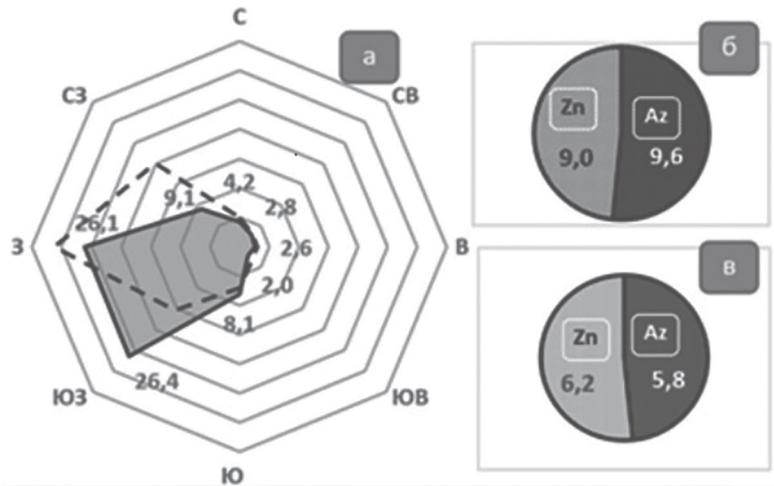


Рис. 3. Осредненные повторяемости (%) направлений переноса облачных систем над ЕТР (а) и повторяемости стационарных ситуаций с циклонической и антициклонической циркуляцией (б, в)  
 [Fig. 3. Averaged frequency (%) of cloud system transport directions over ETR (a) and frequency of stationary situations with cyclonic and anticyclonic circulation (b, c)]

сенний период по северу и, отчасти, по западу и центру территории; возрастание межгодовой изменчивости сезонных особенностей переноса облачных образований; уменьшение повторяемости типичного вида облачных систем и канонического

протекания их эволюции, особенно в теплый и переходные сезоны.

Рассмотрим несколько примеров атипичного протекания эволюции облачных систем на последовательных спутниковых снимках (рис. 4-7).

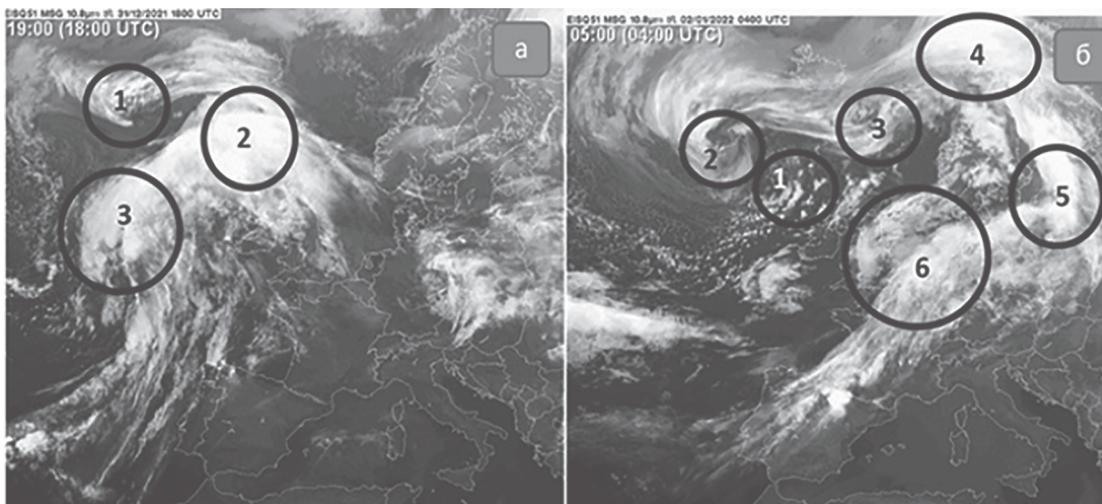


Рис. 4. Пример многократного процесса циклогенеза в области одного барического образования  
 [Fig. 4. An example of a multiple cyclogenesis process in the area of one pressure formation]

На рисунке 4 приведен пример многократного процесса циклогенеза в области одного барического образования. На первом фрагменте наблюдается деградирующая облачность заполняющегося циклонического вихря (выделенная область 1) и две области циклогенеза: у точки окклюзии (2) и на фронтальной волне (3). На следующем фрагменте (4б) спустя 22 часа в области общей циркуляции наблюдаются уже три облачные спирали (области 1-3) с различной степенью деградации, циклон в конце третьей стадии развития (4), и две области

циклогенеза у точки окклюзии (5) и на фронтальной волне (6). Обращает на себя внимание скоротечность процесса, что значительно усложняет процесс анализа и прогноза метеорологических условий.

На рисунке 5а наблюдается облачная спираль заполняющегося циклона, перемещающегося по спиралевидной траектории в меридиональном направлении на юг с поступательной скоростью около 45 км/ч – ни направление перемещения, ни степень подвижности не характерна для бари-

ческого образования в данной стадии развития. В последующие сутки данная облачная система, не изменяя существенно скорости, продолжа-

ла перемещаться в юго-восточном направлении, сблизилась с облачной системой молодого циклона (рис. 5б) и в последующем слилась с ней.

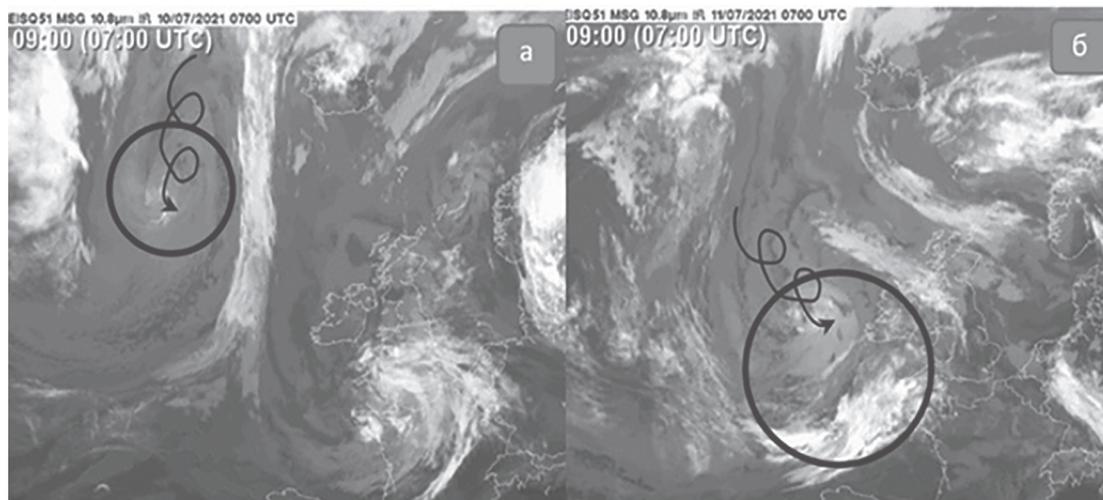


Рис. 5. Пример аномального перемещения облачной системы заполняющегося циклона и её слияние с облачной системой фронтальной волны  
 [Fig. 5. An example of the anomalous movement of the cloud system of the filling cyclone and its merging with the cloud system of the frontal wave]

Описанный характер перемещения и эволюции облачности на рассматриваемом участке географического пространства не позволяет эффективно применить существующие подходы синоптического метода для прогноза синоптического положения и, соответственно, погодных условий. Проверка результатов гидродинамического предвычисления барического поля (по моделям ICOM и GFS) в данной ситуации также показала несоответствие прогнозируемого положения фактически наблюдавшемуся.

На рисунке 6а показаны две последовательные облачные системы арктического фронта

(1, 2) и облачного вихря на полярной системе (3). В дальнейшем облачные полосы (1) и (2) сблизилась, слились и, практически, размылись. В южном циклоне за сутки последовательно образовалось две облачные спирали (4 и 5). Первая из них (4) сблизилась с облачностью арктической системы фронтов и вовлеклась в циркуляцию обширного высокого антициклона с центром над ЕТР (начала перемещаться на северо-восток), вторая (5) – в сформировавшейся собственной циркуляции переместилась на юго-запад (рис. 6б).

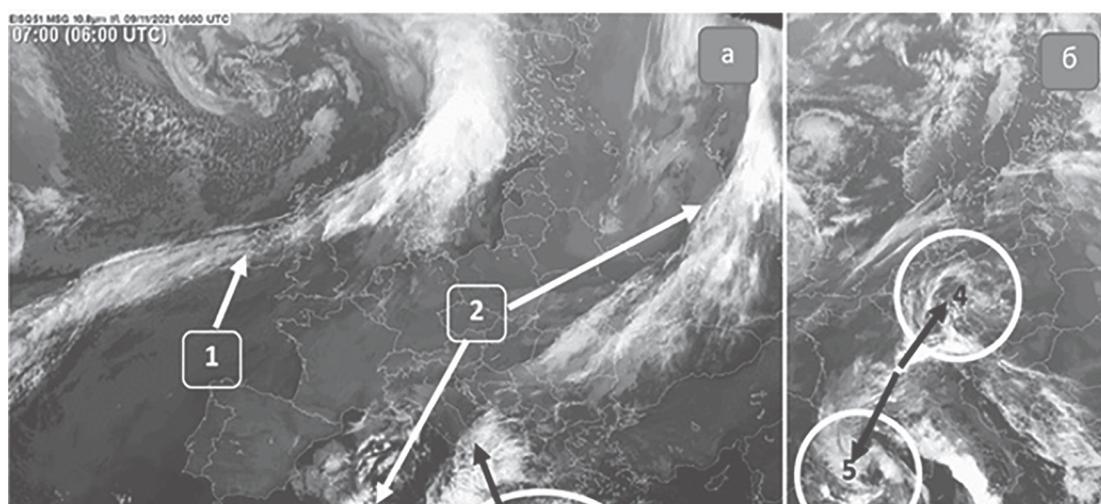


Рис. 6. Пример деградации фронтальных облачных систем и перемещения последовательных «голов» заполняющегося циклона в разных направлениях  
 [Fig. 6. An example of the degradation of frontal cloud systems and the movement of successive "heads" of a filling cyclone in different directions]

На рисунке 7 приведен пример одновременного существования над центром и югом Европы и

севером Африки трех хорошо выраженных фронтальных систем.

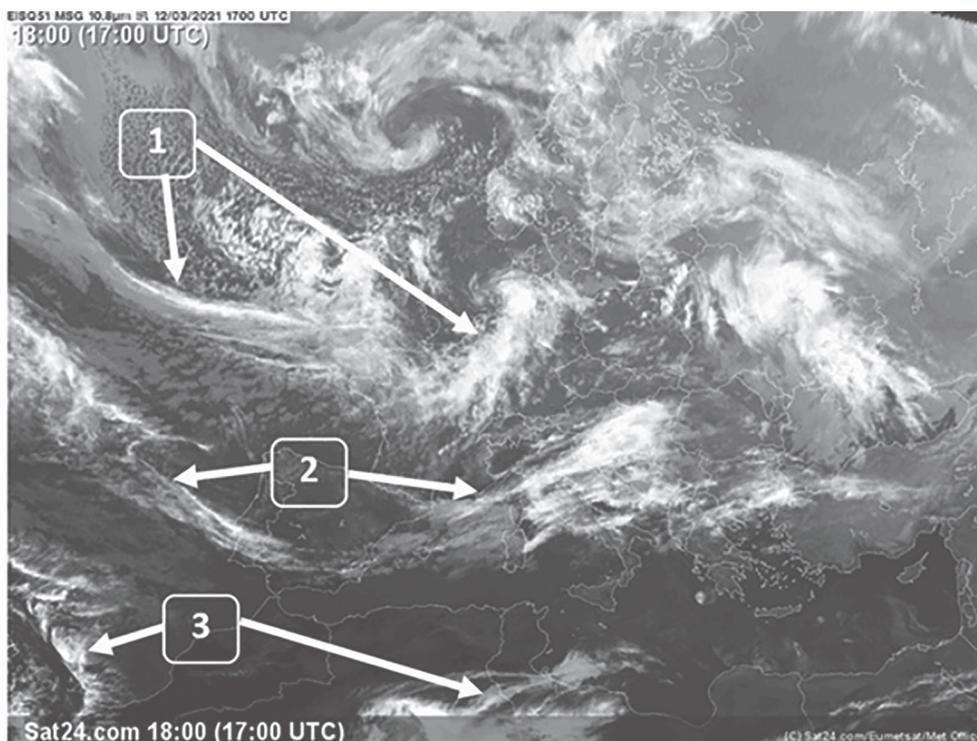


Рис. 7. Пример одновременного нахождения над европейским континентом трех хорошо выраженных систем атмосферных фронтов

[Fig. 7. An example of the simultaneous presence of three well-defined systems of atmospheric fronts over the European continent]

Такая ситуация, когда сформировавшийся «свежий» арктический фронт (1) опускается в умеренные широты, где находится еще хорошо выраженный в поле облачности «прежний» арктический фронт (2), последние годы достаточно часто наблюдается на спутниковых снимках.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При изучении облачных систем последних лет было рассмотрено около 25 тысяч спутниковых снимков облачности, объединённых более чем в тысячу ансамблей, и свыше 1800 снимков семидесятих годов прошлого столетия.

Полученные в процессе проведенного исследования материалы позволяют сделать выводы, что на фоне сохранения основных закономерностей характера перемещения облачных систем над исследуемым регионом, отмечены существенные особенности по сравнению с характеристиками периода, который в настоящее время берется для определения климатической нормы.

В первую очередь необходимо отметить смещение максимума повторяемости выноса к юго-западному направлению и увеличение стационарных состояний.

Немаловажную роль при решении задач анализа и прогноза метеорологических условий следует уделить более частой смене процесса переноса, что выдвигает более жесткие требования к исходным данным для прогнозирования погоды, прежде всего, в плане пространственно-временной дискретности метеорологических и аэрологических наблюдений. Сезонные изменения многолетних характеристик перемещения облачных систем и неоднородность статистических показателей по различным участкам территории свидетельствует о целесообразности разработки диагностических и прогностических правил дифференцированно в пространственном и сезонном отношении.

Уменьшение повторяемости типичного вида облачных систем и канонического протекания их эволюции указывают на необходимость детального изучения наиболее часто встречающихся аномалий и в учете их в прогностических алгоритмах, в том числе и при разработке новых подходов и правил к прогнозу синоптического положения с учетом данных спутниковых наблюдений. Необходимо также отметить, что анализ перемещения облачных систем производился комплексно

визуально-аналитическим методом в сочетании с измерительным – следовательно, несмотря на применение четких критериев, присутствует определенный уровень субъективности. Из этого следует дальнейшее направление исследований – это автоматизация процесса.

В целом, по мнению авторов, показана целесообразность и эффективность использования данных наблюдений со специализированных космических аппаратов для определения закономерностей перемещения и эволюции облачных систем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов Л. М., Расторгуев И. П., Неижмак А. Н. Диагноз и прогноз циклогенеза по данным спутникового зондирования атмосферы // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, 2020, № 2 (376), с. 60-78.
2. Баянкина Т. М., Воскресенская Е. Н. Климатическое районирование средиземноморского региона и его особенности в поле облачности и параметрах циклонов по данным спутникового мониторинга // *Системы контроля окружающей среды*, 2012, № 17, с. 90-93.
3. Боков В. Н., Воробьев В. Н. Изменчивость атмосферной циркуляции и изменение климата // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*, 2010, № 13, с. 83-88.
4. Груза Г. В., Ранькова Э. Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. 194 с.
5. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. Москва: Гидрометиздат, 2021. 104 с.
6. Звягинцева А. В., Расторгуев И. П., Неижмак А. Н. Мониторинг стихийных бедствий конвективного происхождения по данным дистанционного зондирования с метеорологических космических аппаратов. Воронеж: ГОУ ВПО ВГТУ, 2013. 166 с.
7. Изменение климата. Обобщающий доклад / под ред. Р. К. Пачаури, Л. А. Мейер и др. Женева, Швейцария: МГЭИК, 2014. 163 с.
8. Космический мониторинг опасных природных явлений на территории России / В. В. Асмус, Г. М. Иоффе, Л. С. Крамарева и др. // *Метеорология и гидрология*, 2019, № 11, с. 20-32.
9. Начало отечественной космической метеорологии / Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, А. В. Горбунов, В. П. Ходненко // *Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ*, 2012, т. 131, № 6, с. 45-55.
10. Особенности прогнозирования опасных для авиации конвективных явлений погоды над юго-востоком Африки / Л. М. Акимов, И. П. Расторгуев, А. Н. Неижмак, Т. А. Муехина // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2018, № 2, с. 103-110.
11. Развитие в Росгидромете космической подсистемы наблюдений и системы геофизического мониторинга / В. В. Асмус, А. И. Бедрицкий, В. Н. Стасенко и др. // *Метеорология и гидрология*, 2017, № 7, с. 35-49.
12. Расторгуев И. П. Диагноз и прогноз конвективной облачности и явлений погоды над территорией юго-восточной Африки по данным спутникового зондирования // *Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*, 2021, с. 191.
13. Расторгуев И. П., Качмар М. Б. Методика определения направления и скорости перемещения опасных для авиации явлений погоды по данным метеорологических космических аппаратов // *Сборник статей межвузовской научно-практической конференции «Молодёжные чтения памяти Ю. А. Гагарина»*, 2017, с. 1350-1351.
14. Расторгуев И. П., Охунжонов Г. Р. Оценка условий возникновения сильных ветров по спутниковым данным с учетом местных физико-географических особенностей местности // *Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*, 2021, с. 192.
15. Расторгуев И. П., Шулякевич Л. В., Божко А. С. Исследование метеорологических и синоптических объектов по данным специализированных космических аппаратов // *Сборник статей V Международной научно-практической конференции. Комплексные проблемы техносферной безопасности*, 2018, с. 66-70.
16. Решение VII Всероссийского метеорологического съезда (7-9 июля 2014 г. Санкт-Петербург) // *Использование и охрана природных ресурсов в России.*, 2014, № 3 (135), с. 33-38.
17. Толмачева Н. И., Калинин Н. А. Космические методы исследования метеорологических процессов в атмосфере // *Вестник Пермского научного центра УрО РАН*, 2010, № 4, с. 12-23.
18. Anthes R. A., Rocken C., Kuo Y.-H. Applications of cosmic to meteorology and climate // *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 2000, v. 11, no. 1, pp. 115-156.
19. Auyelbekova A., Shymyr M. Space technology for modeling meteorological conditions // *Web of Scholar*, 2018, v. 1, no. 4 (22), pp. 77-81
20. Fisher G. M. Integrating space weather and meteorological products for aviation // *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2003, v. 84, no.11, pp. 1519.
21. Siscoe G. The space-weather enterprise: past, present, and future // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2000, v. 62, no. 14, pp. 1223-1232.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 17.03.2022

Принята к публикации 30.05.2022

## Investigation of the Long-Term Dynamics of the Space-Time Distribution of Cloud Systems According to Specialized Spacecraft

I. P. Rastorguev<sup>1</sup>, L. M. Akimov<sup>2</sup>✉, A. S. Bozhko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Air Force Military Training and Scientific Center «Air Force Academy  
named after Prof. N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin»*

*(54, Starykh Bolshevikov str., Voronezh, 394064)*

<sup>2</sup>*Voronezh State University, Russian Federation*

*(40, Kholzunova str., Voronezh, 394068)*

**Abstract:** The aim is to determine the patterns of movement of cloud systems over the European territory of Russia (ETR) on the basis of observational data from specialized spacecraft.

**Materials and methods.** In the course of the study, hourly analog satellite images of the ETR and adjacent territories were used. The main research methods are graphic-analytical and expert assessments.

**Results and discussion.** The repeatability of the directions of transfer of cloud systems in different seasons of the year for different regions on the ER has been obtained. Some features of the dynamics of cloud systems in recent years are revealed. Significant repeatability of previously uncharacteristic transformations of cloud systems is noted.

**Conclusions.** The expediency of using space methods for studying cloud systems and features of atmospheric circulation is shown.

**Key words:** cloud systems, meteorological spacecraft, specialized satellite information, atmospheric circulation, synoptic processes.

**For citation:** Rastorguev I. P., Akimov L. M., Bozhko A. S. Investigation of the Long-Term Dynamics of the Space-Time Distribution of Cloud Systems According to Specialized Spacecraft. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografya. Geoekologiya*, 2022, no. 2, pp. 78-88. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2022.2/9313>

### REFERENCES

1. Akimov L.M., Rastorguev I.P., Neizhmak A.N. Diagnostika i prognoz ciklogeneza po dannym sputnikovogo zondirovaniya atmosfery [Diagnosis and prediction of cyclogenesis based on satellite atmospheric sounding data]. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy*, 2020, no. 2 (376), pp. 60-78. (In Russ.)

2. Bayankina T.M., Voskresenskaya E.N. Klimaticheskoe rajonirovanie sredizemnomorskogo regiona i ego osobennosti v pole oblachnosti i parametroh ciklonov po dannym sputnikovogo monitoringa [Climatic zoning of the Mediterranean region and its features in the field of cloudiness and cyclone parameters according to satellite monitoring data]. *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy*, 2012, no. 17, pp. 90-93. (In Russ.)

3. Bokov V.N., Vorob'ev V.N. Izmenchivost' atmosfery i izmenenie klimata [Atmospheric circulation variability and climate change]. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*, 2010, no. 13, pp. 83-88. (In Russ.)

4. Gruza G.V., Ran'kova E.Ya. *Nablyudaemye i ozhidaemye izmeneniya klimata Rossii: temperatura vozduha* [Observed and expected climate changes in Russia: air temperature]. Obninsk: FGBU «VNIIGMI-MCD», 2012. 194 p. (In Russ.)

5. *Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2020 god* [Report on climate features in the territory of the Russian Federation for 2020]. Moscow: Gidrometizdat, 2021. 104 p. (In Russ.)

6. Zvyaginceva A.V., Rastorguev I.P., Neizhmak A.N. *Monitoring stihijnyh bedstvij konvektivnogo proiskhozhdeniya po dannym distancionnogo zondirovaniya s meteorologicheskimi kosmicheskimi apparatami* [Monitoring of natural disasters of convective origin according to remote sensing data from meteorological spacecraft]. Voronezh: GOU VPO VGTU, 2013. 166 p. (In Russ.)

7. *Izmenenie klimata. Obobshchayushchij doklad* [Climate change. Synthesis report] / pod red. R.K. Pachauri, L.A. Mejer i dr. Zheneva, Shvejcarija: MGEIK, 2014. 163 p. (In Russ.)



8. Kosmicheskij monitoring opasnyh prirodnyh yavlenij na territorii Rossii [Space monitoring of natural hazards in Russia] / V.V. Asmus, G.M. Ioffe, L.S. Kramareva i dr. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2019, no. 11, pp. 20-32. (In Russ.)

9. Nachalo otechestvennoj kosmicheskoy meteorologii [The beginning of domestic space meteorology] / L.A. Makridenko, S.N. Volkov, A.V. Gorbunov, V.P. Hodnenko. *Voprosy elektromekhaniki. Trudy VNIIEM*, 2012, v. 131, no. 6, pp. 45-55. (In Russ.)

10. Osobennosti prognozirovaniya opasnyh dlya aviatsii konvektivnyh yavlenij pogody nad yugo-vostokom Afriki / L.M. Akimov, I.P. Rastorguev, A.N. Neizhmkov, T.A. Muekhina [Features of forecasting dangerous for aviation convective weather phenomena over southeast Africa]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografija. Geoekologia*, 2018, no. 2, pp. 103-110. (In Russ.)

11. Razvitiye v Rosgidromete kosmicheskoy podsystemy nablyudenij i systemy geofizicheskogo monitoringa [Development of the space observation subsystem and geophysical monitoring system in Roshydromet] / V.V. Asmus, A.I. Bedrickij, V.N. Stasenko i dr. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2017, no. 7, pp. 35-49. (In Russ.)

12. Rastorguev I.P. Diagnostika i prognoz konvektivnoj oblachnosti i yavlenij pogody nad territoriej yugo-vostochnoj Afriki po dannym sputnikovogo zondirovaniya [Diagnosis and forecast of convective clouds and weather phenomena over the territory of Southeast Africa according to satellite sounding data]. *Materialy 19-j Mezhdunarodnoj konferencii «Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa»*, 2021, pp. 191. (In Russ.)

13. Rastorguev I.P., Kachmar M.B. Metodika opredeleniya napravleniya i skorosti peremeshcheniya opasnyh dlya aviatsii yavlenij pogody po dannym meteorologicheskikh kosmicheskikh apparatov [Methodology for determining the direction and speed of movement of weather phenomena dangerous for aviation according to meteorological spacecraft data]. *Sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Molodyozhnye chteniya pamyati Yu. A. Gagarina»*, 2017, pp. 1350-1351. (In Russ.)

14. Rastorguev I.P., Ohunzhonov G.R. Ocenka uslovij vozniknoveniya sil'nyh vetrov po sputnikovym dannym s uchetom mestnyh fiziko-geograficheskikh osobennostej

[Assessment of the conditions for the occurrence of strong winds according to satellite data, taking into account local physical and geographical features of the area]. *Materialy 19-j Mezhdunarodnoj konferencii «Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa»*, 2021, pp. 192. (In Russ.)

15. Rastorguev I.P., Shulyakevich L.V., Bozhko A.S. Issledovanie meteorologicheskikh i sinopticheskikh ob"ektov po dannym specializirovannyh kosmicheskikh apparatov [Research of meteorological and synoptic objects according to the data of specialized spacecraft]. *Sbornik statej V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Kompleksnyye problemy tekhnosfernoj bezopasnosti*, 2018, pp. 66-70. (In Russ.)

16. Reshenie VII Vserossijskogo meteorologicheskogo s"ezda (7-9 iyulya 2014 g. Sankt-Peterburg) [Decision of the VII All-Russian Meteorological Congress (July 7-9, 2014 St. Petersburg)]. *Ispol'zovanie i ohrana prirodnyh resursov v Rossii*, 2014, no. 3 (135), pp. 33-38. (In Russ.)

17. Tolmacheva N.I., Kalinin N.A. Kosmicheskie metody issledovaniya meteorologicheskikh processov v atmosfere [Space methods for studying meteorological processes in the atmosphere]. *Vestnik Permskogo nauchnogo centra UrO RAN*, 2010, no. 4, pp. 12-23. (In Russ.)

18. Anthes R.A., Rocken C., Kuo Y.-H. Applications of cosmic to meteorology and climate. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 2000, v. 11, no. 1, pp. 115-156.

19. Auyelbekova A., Shymyr M. Space technology for modeling meteorological conditions. *Web of Scholar*, 2018, v. 1, no. 4 (22), pp. 77-81

20. Fisher G.M. Integrating space weather and meteorological products for aviation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2003, v. 84, no.11, pp. 1519.

21. Siscoe G. The space-weather enterprise: past, present, and future. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2000, v. 62, no. 14, pp. 1223-1232.

**Conflict of interests:** The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 17.03.2022

Accepted: 30.05.2022

Расторгуев Игорь Поликарпович  
кандидат географических наук, доцент, старший преподаватель кафедры гидрометеорологического обеспечения Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия», г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-7949-2471, e-mail: iprastor@yandex.ru

Акимов Леонид Мусамудинович  
кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-0749-1976, e-mail: akl63@bk.ru

Божко Алексей Сергеевич  
соискатель Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия», г. Воронеж, Российская Федерация, e-mail: asbmet@mail.ru

Igor P. Rastorguev  
Cand. (Geogr.) Sci., Assoc. Prof., Senior lecturer of the Department of hydrometeorological support of Military Educational and Scientific Centre of the Air Force, «Air Force Academy», Voronezh, ORCID: 0000-0001-7949-2471, e-mail: iprastor@yandex.ru

Leonid M. Akimov  
Cand. (Geogr.) Sci., Assoc. Prof., Head of the chair of nature management, Department of geography, geoecology and tourism, Voronezh State University, Voronezh, ORCID: 0000-0003-0749-1976, e-mail: akl63@bk.ru

Alexey S. Bozhko  
Applicant of the Military Training and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy", Voronezh, e-mail: asbmet@mail.ru