

# Опасные погодные явления и мониторинг атмосферы с помощью спутниковых навигационных систем

О.Г. Хуторова , М.В. Маслова, В.Е. Хуторов\*

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18

Поступила в редакцию 05.02.2024;

после доработки 01.04.2024;

принята к печати 02.04.2024

Мониторинг атмосферы с помощью глобальных спутниковых навигационных систем обычно используют в том числе для оценки интегрального влагосодержания атмосферы. С высоким временным разрешением измеряется зенитная тропосферная задержка спутниковых радиосигналов и ее градиентные параметры, характеризующие атмосферные мезомасштабные неоднородности. В настоящей работе выявлена значимая изменчивость этих характеристик атмосферы, связанная с опасными конвективными явлениями. Используется выборка нескольких сотен штормов, ураганов, ливней, гроз, крупного града, соответствующих имеющимся наблюдениям ближайших станций приема спутниковых сигналов в Республике Татарстан и Московской области, находящихся на широтах 55–56° с.ш. Обнаружено, что в условиях опасных явлений растет неоднородность поля зенитной тропосферной задержки спутниковых сигналов, что проявляется в увеличении ее градиентных параметров и их флуктуаций, а также возрастании интегрального влагосодержания атмосферы и его внутрисуточной изменчивости. Наиболее сильно меняется интенсивность флуктуаций интегрального влагосодержания, если станция расположена не далее 20 км от опасного явления, что объясняется размерами конвективных ячеек. Однако даже при расположении станции на расстояниях до 200 км от опасных явлений наблюдаются рост интегрального влагосодержания атмосферы и усиление атмосферных неоднородностей по сравнению со среднеголетними данными. Результаты работы могут быть полезны для развития технологии подспутникового мониторинга опасных конвективных явлений.

*Ключевые слова:* ГНСС-мониторинг, атмосферная конвекция, опасные явления погоды, мезомасштабные неоднородности; GNSS monitoring, atmospheric convection, severe weather phenomena, mesoscale inhomogeneity.

## Введение

Опасные метеорологические явления (далее – ОЯ) могут наносить большой ущерб экономике и приводить к гибели людей, в связи с чем актуализируется задача их прогнозирования [1–9]. Из-за изменения климата в различных регионах наблюдается рост числа опасных явлений, связанных с атмосферной конвекцией, – это сильный ветер, крупный град, ливни и грозы. Многими авторами отмечается, что тенденция увеличения количества экстремальных событий будут сохраняться [2–5].

В настоящее время в методах прогнозирования используются численные модели и алгоритмы нейронных сетей. Прогноз ОЯ весьма сложен, для повышения точности желательно использовать все имеющиеся данные наблюдений, а также технологии дистанционного зондирования [6–10]. Наиболее трудно прогнозировать точные координаты возник-

новения ОЯ, например ураганного ветра [6, 8]. Необходимо корректно диагностировать наличие конвекции и ее интенсивности для более объективной оценки условий возникновения ОЯ [10]. Очень важной характеристикой в этих задачах является атмосферное влагосодержание как показатель конвекции [9, 10]. Одним из инструментов мониторинга этого параметра служат глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), по сигналам которых восстанавливают не только интегральное влагосодержание атмосферы, но и параметры ее неоднородной структуры с временным разрешением до 5 мин [11–16].

Цель работы – обнаружить проявление опасных конвективных явлений в атмосферных параметрах, измеряемых с помощью ГНСС.

## Материалы и методы

Глобальные навигационные спутниковые системы позволяют получать оценки интегрального влагосодержания атмосферы (IWV – integral water vapor), которое обычно измеряется в кг/м<sup>2</sup> или миллиметрах осажденной воды [11–13]. Исходным

\* Ольга Германовна Хуторова (Olga.Khutorova@krfu.ru); Мария Владимировна Маслова (maryamaslova1861@mail.ru); Владислав Евгеньевич Хуторов (pri870@yandex.ru).

измеряемым параметром является тропосферная задержка радиосигналов ГНСС в зенитном направлении ZTD, измеряемая в единицах длины, так как это дополнительный фазовый путь электромагнитных волн в тропосфере по отношению к пути в вакууме. Для учета влияния неоднородной структуры атмосферы вводят зональный  ${}^e\text{ZTD}$  и меридиональный  ${}^n\text{ZTD}$  горизонтальные градиентные параметры тропосферной задержки, которые отражают неоднородность плотности атмосферы в зональном и меридиональном направлениях соответственно [14].

В настоящее время многие исследователи активно стараются выявить сигнатуры опасных явлений в данных ГНСС-мониторинга, несмотря на сложность анализа этих данных. Результаты моделирования двух случаев конвективного шторма с градом показывают, что ОЯ должны отражаться в наклонных тропосферных задержках спутниковых сигналов [15]. Учет IWV улучшает работу нейросетевого алгоритма прогноза летних штормов [16]. Благодаря высокому пространственному разрешению сети приемников в исследовании [17] удалось проследить траекторию деречо (буря и гроза, распространяющаяся прямолинейно) на территории Польши. Результаты исследования двух конвективных штормов в Бельгии показали, что сигналы ГНСС могут служить детекторами штормовых событий [18]. В работе [19] обнаружено, что ливневые осадки сопровождаются заметными синхронными вариациями IWV. К сожалению, в основном исследования опираются на эпизодические случаи ОЯ.

Ранее было показано значимое различие статистических свойств интегрального влагосодержания атмосферы [20] и градиентных параметров тропосферной задержки [21] при глубокой конвекции, которая оценивалась с помощью конвективных индексов, рассчитанных по модельным данным. Однако не всегда конвективные процессы приводят к опасным погодным явлениям. Поэтому в настоящей работе предполагается рассмотреть несколько сотен случаев зарегистрированных ОЯ и выявить изменчивость неоднородной структуры поля зенитной тропосферной задержки радиосигналов ГНСС и интегрального влагосодержания атмосферы, характерную для этих явлений.

В работе использованы длинные ряды интегрального влагосодержания и градиентных параметров ZTD, рассчитанные по данным ГНСС-наблюдений сетей приемников высокоточного позиционирования Казанского университета и IGS-GNSS [22]. Рассмотрены данные наблюдений 13 станций в Республике Татарстан и Московской области за 2013–2023 гг.

Вблизи этих среднеширотных ГНСС-станций (до 200 км) проведена выборка событий опасных конвективных явлений. Необходимо было уточнить координаты и время начала наиболее сильного проявления ОЯ. Выбирались те события, для которых имелись данные о координатах и времени в Европейской базе данных о суровой погоде (European Severe Weather Database) [21]. Фиксировались

сильный ветер, смерч, торнадо, шторм, крупный град, молния. В документации [21] «град» — это выпадающие градины диаметром не менее 2,0 см или градины, образующие слой толщиной 2,0 см или более на плоских участках земной поверхности. «Молния» — любое явление молнии, которое причинило значительный ущерб самолетам, транспортным средствам, кораблям, сооружениям или привело к ранениям или гибели людей, животных. «Торнадо», или «смерч» — это вихрь, простирающийся между конвективным облаком и земной поверхностью, в котором ветер достаточно силен, чтобы нанести ущерб объектам (скорости ветра не менее 25 м/с). «Сильный порыв ветра» — порыв, скорость которого, по оценкам, составляет не менее 25 м/с [21]. Эти критерии соответствуют критериям ОЯ, изложенным в рекомендациях Всемирной метеорологической организации [1].

Как правило, вышеперечисленные ОЯ фиксировались в исследуемых регионах в теплый период года с 15 апреля по 15 октября. В это же время наблюдаются максимальные значения IWV. Длинные ряды данных IWV и  ${}^e\text{ZTD}$  и  ${}^n\text{ZTD}$  с временным разрешением от 5 мин сопоставлялись с наблюдениями ОЯ.

Следуя работе [21], преобразуем  ${}^e\text{ZTD}$  и  ${}^n\text{ZTD}$  в вектор градиентного параметра, задаваемый величиной  $d\text{ZTD}$  и направлением  $A_{d\text{ZTD}}$ :

$$d\text{ZTD} = \sqrt{{}^n\text{ZTD}^2 + {}^e\text{ZTD}^2};$$

$$A_{d\text{ZTD}} = \arctan({}^n\text{ZTD}/{}^e\text{ZTD}).$$

Мы предположили, что индикатором глубокой конвекции служит как увеличение IWV, так и формирование конвективных ячеек, т.е. активизация мезомасштабных атмосферных неоднородностей. Мезомасштабные конвективные структуры перемещаются в пространстве, координаты ОЯ не совпадают с координатами станций, при этом надо оценить максимальную интенсивность конвективных ячеек на территории расположения всех пунктов наблюдений. Поэтому, в отличие от работы [21], здесь мы рассматривали не среднечасовую, а максимальную за сутки  $d\text{ZTD}$  и среднеквадратичные отклонения направления вектора градиентных параметров  $\sigma_{A_{d\text{ZTD}}}$ . Среднесуточные значения IWV, его внутрисуточная изменчивость  $d\text{IWV}$  — отношение внутрисуточного роста влагосодержания к минимальному IWV за сутки в процентах — это показатели мощности конвективных процессов. Сформированы выборки этих характеристик для суток, когда проявлялся каждый из типов ОЯ, и общая выборка для периода с 15 апреля по 15 октября за все годы наблюдений.

В качестве сигнатуры ОЯ ищем изменение распределений выбранных параметров (IWV,  $d\text{IWV}$ ,  $d\text{ZTD}$ ,  $\sigma_{A_{d\text{ZTD}}}$ ) относительно многолетних данных. Ранее было показано, что распределения характеристик горизонтального градиента ZTD и IWV при глубокой конвекции не соответствуют нормальному [20, 21], поэтому они проверялись

с помощью критериев Краскела–Уоллиса, Стьюдента и ANOVA [23]. Вычислялись медианы IWV,  $dIWV$ , величины и флуктуаций направления вектора градиента зенитной тропосферной задержки как для всех данных летнего периода, так и для ситуаций наблюдения ОЯ.

## Результаты и обсуждение

Для начала оценивались статистические характеристики всех исследуемых параметров для разных станций Республики Татарстан и Московской области. Оказалось, что они принадлежат к одной генеральной совокупности, что вполне объяснимо, так как их широты находятся в пределах одного градуса ( $55\text{--}56^\circ$  с.ш.). Это позволило рассматривать статистические свойства распределений IWV без привязки к координатам станций, объединяя их в общую выборку.

Распределения параметров IWV и  $dIWV$ ,  $dZTD$  и  $\sigma_{A_{dZTD}}$ , полученные по многолетним данным, и распределения для всех суток, когда наблюдались какие-либо из ОЯ, представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

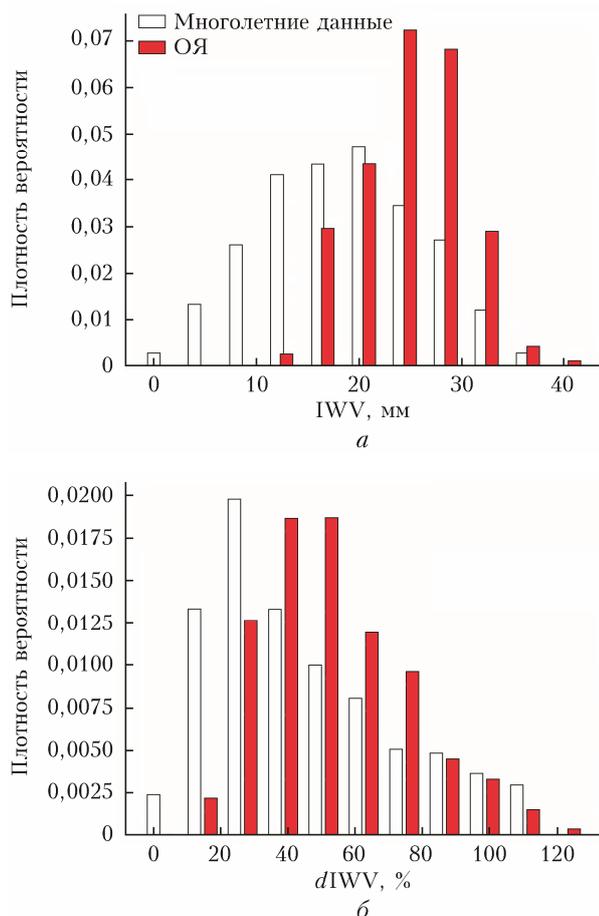


Рис. 1. Гистограммы распределений характеристик атмосферы, полученные по многолетним данным и для всех суток, когда наблюдались какие-либо из ОЯ: среднесуточное IWV (а); рост  $dIWV$  (б)

Сравнение распределений на рис. 1 показывает повышение среднесуточного интегрального влагосодержания атмосферы и его внутрисуточных вариаций при опасных конвективных явлениях по сравнению с многолетними данными. Видно, что ОЯ проявляются в данных ГНСС-мониторинга ростом интенсивности мезомасштабных неоднородностей, о чем свидетельствует сдвиг вправо распределений  $dZTD$  и  $\sigma_{A_{dZTD}}$  (рис. 2).

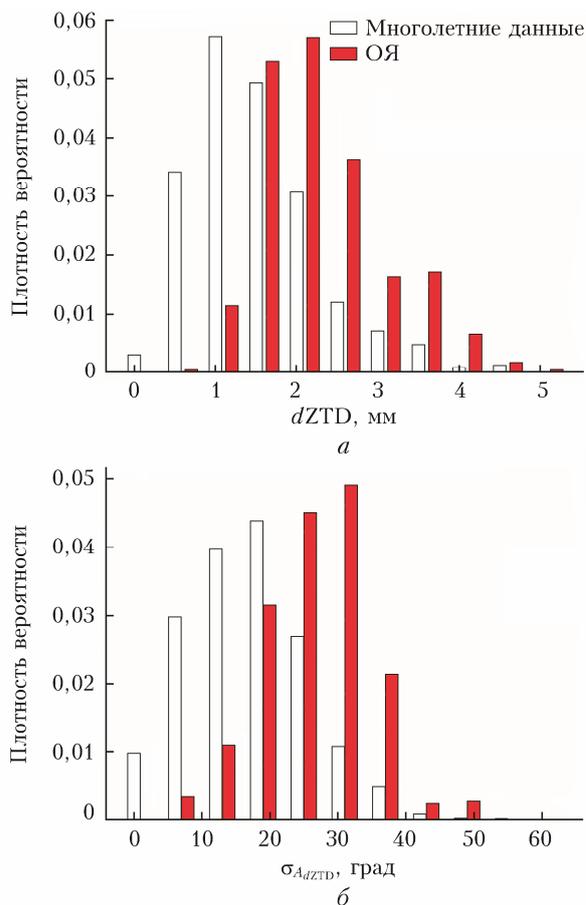


Рис. 2. Гистограммы распределений характеристик атмосферы, полученные по многолетним данным и для всех суток, когда наблюдались какие-либо из ОЯ:  $dZTD$  (а);  $\sigma_{A_{dZTD}}$  (б)

Критерии Стьюдента, ANOVA и Краскела–Уоллиса показали, что распределения всех исследуемых параметров при ОЯ и среднемноголетние значительно различаются.

Далее мы рассмотрели распределения IWV и  $dZTD$  для различных типов ОЯ. Все статистические критерии показали, что при смерче, шторме и сильных порывах ветра они статистически не различаются, поэтому далее эти явления рассматриваем в совокупности.

По всем статистическим критериям распределения IWV и ZTD при крупном граде, молниях и ливнях принадлежат к одной генеральной совокупности. Это возможно из-за небольшого объема выборки, собранных для событий с молниями и ливнями, или из-за того, что грозы и град почти всегда

сопровождаются ливнями, но в базе данных они классифицируются отдельными случаями. И наоборот, обнаружено, что выборки интегрального влагосодержания, его внутрисуточной изменчивости, флуктуаций направления градиента зенитной тропосферной задержки при сильном ветре (вместе со штормами и смерчами) и крупном граде (вместе с молниями и ливнями) принадлежат к разным совокупностям. Величина  $dZTD$  не показала различий распределений. Скорее всего, она отражает характерные флуктуации плотности воздуха при формировании конвективных ячеек с одинаковым характерным масштабом при глубокой конвекции, сопровождаемой разными типами ОЯ [24].

Оценены статистические характеристик интегрального влагосодержания атмосферы, градиентных параметров зенитной тропосферной задержки в зависимости от расстояния между координатами отмеченного ОЯ и пунктом наблюдения (ГНСС-станция). Выбор расстояния до станции основывался на выделении влияния конвективных процессов, соответствующих  $\gamma$ -мезомасштабу (пространственный масштаб до 20 км) и  $\beta$ -мезомасштабным флуктуациям (20–200 км) [25], на сигналы ГНСС.

В таблице представлены для разных видов ОЯ соответствующие им медианы интегрального влагосодержания атмосферы, его суточной изменчивости, градиента и флуктуаций направления градиента зенитной тропосферной задержки. Для сопоставления представлены медианы тех же величин по многолетним данным.

ГНСС-параметры атмосферы для ОЯ в сравнении с многолетними данными

Параметр	Средне-много-летние данные	Расстояние от приемника до ОЯ			
		$D \leq 20$ км		$20 < D \leq 200$ км	
		сильный ветер	град, ливень, гроза	сильный ветер	град, ливень, гроза
Медиана среднесуточного IWV, мм	19	25	29	25	25
Медиана изменчивости IWV за сутки, %	28	54	51	46	48
Медиана максимального за сутки градиента $dZTD$ , мм	1,6	2,1	1,8	2	1,8
Медиана внутрисуточных флуктуаций $\sigma_{AZTD}$ , град	19	29	26	27	23
Число событий		30	10	161	106

Ранее нами было показано, что даже при отсутствии ОЯ в условиях глубокой конвекции распределение интегрального влагосодержания значительно меняется. В Поволжском регионе медиана среднечасовых показателей IWV увеличивается в среднем на 12 мм при увеличении восходящей вертикальной скорости ветра до 40 м/с [20]. В таблице приведены среднесуточные оценки IWV, а не среднечасовые, как в [20], поэтому их рост менее выражен. Тем не менее он составляет от 6 до 10 мм осаждаемой воды. Вместе с ростом внутрисуточной изменчивости в 1,5–2 раза это свидетельствует

об усилении мощности выноса водяного пара в атмосферу при глубокой конвекции, приводящей к ОЯ.

Если ОЯ наблюдаются не далее 20 км от станции, внутрисуточный рост IWV составляет 50% и выше. Вектор градиента ZTD и флуктуации его направления менее чувствительны к расстоянию до ОЯ, но также показывают усиление неоднородностей атмосферы при ОЯ по сравнению с многолетними данными. Вектор градиентных параметров и флуктуации его направления – критерии неоднородной структуры тропосферы, их рост свидетельствует о формировании конвективных ячеек. Слабая зависимость  $dZTD$  от расстояния между ОЯ и станцией мониторинга объясняется тем, что, как правило, при глубокой конвекции образуется не одна ячейка, а протяженные мезомасштабные конвективные структуры, связанные с прохождением атмосферного фронта [26]. Следовательно, на расстоянии 20–200 км до станции конвективных ячеек может быть несколько, что отражается как на флуктуациях угла  $dZTD$ , так и на его величине.

## Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в условиях опасных конвективных явлений с помощью зондирования тропосферы ГНСС-сигналами фиксируется рост влагосодержания атмосферы и интенсивности мезомасштабных неоднородностей, что проявляется в увеличении флуктуаций

вектора градиентного параметра зенитной тропосферной задержки сигналов. Наиболее сильно возрастает влагосодержание атмосферы, если станция расположена не далее 20 км от опасного явления, что объясняется размерами конвективных ячеек. Но даже при расположении станции на расстояниях до 200 км от опасных явлений обнаруживается увеличение атмосферных флуктуаций и интегрального влагосодержания по сравнению со среднемноголетними данными. Таким образом, опасные погодные явления в летний период объективно отражаются в измеряемых характеристиках неоднородной

структуры атмосферы при ГНСС-мониторинге. Исследования планируется продолжить, так как увеличение объема выборок может уточнить полученные результаты. Например, опасных конвективных явлений, проходящих на расстоянии до 20 км от ГНСС-приемника, выявлено пока недостаточно. Возможно, анализ большего количества ливней и гроз позволит обнаружить дополнительные закономерности.

**Финансирование.** Исследование выполнено при поддержке РФФ (грант № 23-27-00222), (<https://rscf.ru/project/23-27-00222>), (проект № 23-27-00222).

### Список литературы

1. *Руководство по практике метеорологического обслуживания населения.* 2000. ВМО № 834 // World meteorological organization. URL: <https://library.wmo.int/records/item/43384-----?offset=1> (дата обращения: 03.11.2023).
2. *Gensini V.V.* Severe convective storms in a changing climate // *Clim. Change Extreme Events.* 2021. P. 39–56. DOI: 10.1016/B978-0-12-822700-8.00007-X.
3. *Харюткина Е.В., Логинов С.В., Морару Е.И., Пустовалов К.Н., Мартынова Ю.В.* Динамика характеристик экстремальности климата и тенденции опасных метеорологических явлений на территории Западной Сибири // *Оптика атмосф. и океана.* 2022. Т. 35, № 2. С. 136–142. DOI: 10.15372/AOO20220208; *Харюткина Е.В., Логинов С.В., Морару Е.И., Пустовалов К.Н., Мартынова Ю.В.* Dynamics of extreme climatic characteristics and trends of dangerous meteorological phenomena over the territory of Western Siberia // *Atmos. Ocean. Opt.* 2022. V. 35, N 4. P. 394–401. DOI: 10.1134/S1024856022040078.
4. *Сумак Е.Н., Семенова И.Г.* Циклоническая активность и повторяемость опасных явлений погоды над территорией Беларуси // *Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология.* 2019. № 2. С. 79–93. DOI: 10.33581/2521-6740-2019-2-79-93.
5. *Davis I., Li F., Chavas D.* Future changes in the vertical structure of severe convective storm environments over the US central Great Plains // *arXiv preprint arXiv:2310.11631.*
6. *Ривин Г.С., Розинкина И.А., Вильфанд Р.М., Киктев Д.Б., Тудрий К.О., Блинов Д.В., Варенцов М.И., Захарченко Д.И., Самсонов Т.Е., Репина И.А., Артамонов А.Ю.* Система COSMO-Ru негидростатического мезомасштабного краткосрочного прогноза погоды Гидрометцентра России: второй этап реализации и развития // *Метеорол. и гидрол.* 2015. № 6. С. 58–70.
7. *Ривин Г.С., Розинкина И.А., Вильфанд Р.М., Киктев Д.Б., Тудрий К.О., Блинов Д.В., Варенцов М.И., Захарченко Д.И., Самсонов Т.Е., Репина И.А., Артамонов А.Ю.* Разработка оперативной системы численного прогноза погоды и условий возникновения опасных явлений с высокой детализацией для Московского мегаполиса // *Метеорол. и гидрол.* 2020. № 7. С. 5–19.
8. *Алексеева А.А.* Прогноз ураганных ветров внетропических циклонов на территории России // *Метеорол. и гидрол.* 2017. № 1. С. 5–15.
9. *Алексеева А.А.* Метод прогноза сильных шквалов // *Метеорол. и гидрол.* 2014. № 9. С. 5–15.
10. *Krinitkiy M., Sprygin A., Elizarov S., Narizhnaya A., Shikhov A., Chernokulsky A.* Towards the accurate automatic detection of mesoscale convective systems in remote sensing data: From data mining to deep learning models and their applications // *Remote Sens.* 2023. V. 15, N 14. P. 3493. DOI: 10.3390/rs15143493.
11. *Bevis M.S., Businger T.A.* GPS meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using the Global Positioning System // *J. Geophys. Res.* 1992. V. 97, N D14. P. 15787–15801. DOI: 10.1029/92JD01517.
12. *Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J.* Global Positioning System. Theory and Practice. Wien, New York: Springer-Verlag, 1994. 356 p.
13. *Xu G.* GPS. Theory, algorithms and applications. Berlin: Springer, 2007. 340 p.
14. *Barindelli S., Realini E., Venuti G., Fermi A., Gatti A.* Detection of water vapor time variations associated with heavy rain in northern Italy by geodetic and low-cost GNSS receivers // *Earth, Planets and Space.* 2018. V. 70, N 1. P. 1–18. DOI: 10.1186/s40623-018-0795-7.
15. *Lasota E., Slavchev M., Guerova G., Rohm W., Kaplan J.* Combined space- and ground-based GNSS monitoring of two severe hailstorm cases in Bulgaria // *J. Atmos. Oceanic Technol.* 2022. V. 39. P. 649–665. DOI: 10.1175/JTECH-D-21-0100.1
16. *Łoś M., Smolak K., Guerova G., Rohm W.* GNSS-based machine learning storm nowcasting // *Remote Sens.* 2020. V. 12. 2536. P. 1–13. DOI: 10.3390/rs12162536.
17. *Nykiel G., Figurski M., Baldysz Z.* Analysis of GNSS sensed precipitable water vapour and tropospheric gradients during the derecho event in Poland of 11th August 2017 // *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* 2019. V. 193. DOI: 10.1016/j.jastp.2019.105082.
18. *Aichinger-Rosenberger M., Aregger M., Kopp J.* Detecting signatures of convective storm events in GNSS-SNR: Two case studies from summer 2021 in Switzerland // *Geophys. Res. Lett.* V. 50, N 212023. P. 1–11. DOI: 10.1029/2023GL104916.
19. *Dotzek N., Groenemeijer P., Feuerstein B., Holzer A.M.* Overview of ESSL's severe convective storms research using the European Severe Weather Database ESWD // *Atmos. Res.* 2009. V. 93. P. 575–586. DOI: 10.1016/j.atmosres.2008.10.020.
20. *Хуторова О.Г., Маслова М.В., Хуторов В.Е.* Проявление конвективных процессов в рядах интегрального влагосодержания атмосферы по многолетним данным мониторинга тропосферы сигналами спутниковых навигационных систем в г. Казани // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* 2023. Т. 20, № 3. С. 271–281. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-271-281.
21. *Хуторова О.Г., Маслова М.В., Хуторов В.Е.* Влияние сильной конвекции в летний период на характеристики атмосферы полученные по данным ГНСС-мониторинга // *Оптика атмосф. и океана.* 2024. Т. 37, № 2. С. 163–168. DOI: 10.15372/AOO20240211.

22. IGS: International GNSS Service. 2020. URL: <https://igs.org/> (05.11.2023).
23. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. М.: Физматлит, 2006. 468 с.
24. Вельтищев Н.Ф., Степаненко В.М. Мезометеорологические процессы: учеб. пособие М.: МГУ, 2007. 126 с.
25. Orlanski I. A rational subdivision of scales for atmospheric processes // Bull. Am. Meteorol. Soc. 1975. V. 56, N 5. P. 527–530.
26. Schumacher R.S., Rasmussen K.L. The formation, character and changing nature of mesoscale convective systems // Nat. Rev. Earth Environ. 2020. V. 1, N 6. P. 300–314. DOI: 10.1038/s43017-020-0057-7.

*O.G. Khutorova, M.V. Maslova, V.E. Khutorov.* **Hazardous weather events and atmospheric monitoring using satellite navigation systems.**

Atmospheric monitoring from global satellite navigation systems is usually used to estimate the integral water vapor of the atmosphere. In addition, such parameters as the zenith tropospheric delay of satellite radio signals and its gradient parameters characterizing atmospheric mesoscale irregularities measured with high temporal resolution. The work shows a significant variability of these atmospheric characteristics associated with severe convective weather phenomena. A sample of several hundred events of severe weather phenomena corresponding to available observations of the nearest satellite stations in the Republic of Tatarstan and Moscow region located at latitudes 55–56° N is used. It was found that under the conditions of severe weather phenomena, the inhomogeneity of the zenith tropospheric delay field of satellite signals strongly increases, which manifested in the increase in its gradient parameters and their fluctuations, as well as in the growth of the integral water vapor. The intensity of fluctuations of integral water vapor most strongly changes if the station is located not further than 20 km from a hazardous phenomenon, which is explained by the size of convective cells. However, even at the station location at distances of up to 200 km from hazardous phenomena, an increase in the atmospheric integral water vapor and the effect of amplification of inhomogeneity as compared to mean multiyear data are observed.