

Пример усвоения данных нескольких сетей гронопеленгации в численном прогнозе погоды

И.М. Губенко¹, К.Г. Рубинштейн^{1,2*}

¹Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН
115191, г. Москва, ул. Большая Тульская, 52

²Гидрометцентр России
123242, г. Москва, Большой Предтеченский пер., 11–13

Поступила в редакцию 12.07.2021 г.

Представлены результаты исследования влияния усвоения данных сетей гронопеленгации на качество прогноза погоды по численной модели. Для двух случаев гроз 2020 г. над Краснодарским краем были выполнены оценки качества прогнозов для некоторых метеовеличин: без усвоения данных гронопеленгации; отдельно с усвоением данных глобальных и региональных сетей; с усвоением совокупности данных сетей. В качестве процедуры усвоения применялась WRF-LTNGDA, в качестве прогностической модели – WRF-ARW версии 3.9.1. Изучено влияние данных сетей WWLLN, ГГО, ВГИ, а также новой глобальной гронометрической сети TLN на качество прогноза погоды.

Ключевые слова: гронопеленгация, усвоение данных, конвекция, WRF-ARW; lightning detection systems, data assimilation, convection, WRF-ARW.

Введение

В настоящее время растет количество отечественных и зарубежных сетей гронопеленгации. Это связано, прежде всего, с тем, что грозы – опасное природное явление, и совершенствование их прогноза – актуальная задача. Статистика объективной информации о грозах важна для инженерного проектирования в энергетике и других отраслях хозяйства. Кроме того, гронопеленгация позволяет объективно и достаточно точно локализовать эти явления на больших расстояниях и оперативно учитывать их в численных прогнозах погоды, заметно улучшая качество прогнозов во время гроз, как было показано, например, в [1–5].

Цель настоящей работы – анализ влияния информации, полученной с нескольких сетей гронопеленгации и усвоенной в моделях численного прогноза погоды, на качество прогноза метеорологических величин во время интенсивной конвекции, сопровождающей грозы. Это исследование продолжает работы авторов [3–5] по усвоению данных сетей гронопеленгации.

Для экспериментов был выбран южный регион России с пересеченным и разнообразным рельефом – Краснодарский край, для которого в теплый период года грозы очень характерны.

В работе выполнены оценки качества прогнозов приземных характеристик воздуха для 30 мая и 21 сентября 2020 г. без усвоения информации о грозах и с усвоением данных доступных нам гло-

бальных и региональных сетей отдельно и в совокупности. В качестве процедуры усвоения применялась технология, близкая по реализации к WRF-LTNGDA [1, 2]. По этой методике усвоение проводилось с помощью параметризации влажной конвекции, в которой активная конвекция провоцировалась в столбах атмосферы с координатами, полученными из соответствующих сетей гронопеленгации, и подавлялась во всех остальных узлах сетки. В качестве прогностической использовалась модель WRF-ARW версии 3.9.1 [6]. Для исследования была доступна информация следующих сетей гронопеленгации:

1) глобальных – Total Lightning Network (TLN) и Worldwide Lightning Location Network (WWLLN), США [7, 8];

2) региональных – сети Главной геофизической обсерватории (ГГО) и Высокогорного геофизического института (ВГИ), Россия [9, 10].

Сеть TLN сравнительно новая, поэтому кратко опишем ее далее. Остальные сети были рассмотрены в [3–6].

Информация с сети Total Lightning Network™

Гронопеленгаторная сеть Total Lightning Network (TLN) – глобальная сеть гронопеленгации, развертываемая в США компанией Earth Networks. В нашем распоряжении были данные этой сети за 2020 и 2021 гг. Сеть насчитывает более 1800 датчиков, диапазон работы которых составляет от 300 кГц до 3 МГц и охватывает более 100 стран по всему

* Инна Михайловна Губенко (img0504@yandex.ru); Константин Григорьевич Рубинштейн (k.g.rubin@gmail.com).

миру (рис. 1). Датчики этой сети позволяют определять молнии типа облако–земля и облако–облако. Запись в базу происходит каждый час. В файлах присутствует информация о типе разрядов, их количестве, времени, координатах, высоте, количестве сенсоров, зафиксировавших явление, а также величине тока в канале наземных молний [7]. В России имеется всего один датчик этой сети, расположенный в Якутии. Ближайший к Краснодарскому краю датчик расположен в Грузии [7].



Рис. 1. Карта расположения датчиков сети грозопеленгации TLN [7]

Для анализа качества полученных данных сети TLN по территории Краснодарского края за май–сентябрь 2020 г. было рассчитано количество совпадений и несовпадений этих данных с синоптическими сообщениями о грозах, данными глобальной сети WWLLN, а также региональных сетей ВГИ и ГГО [7–10].

Были рассчитаны следующие характеристики:

1) совпадение координат гроз от сетей TLN, WWLLN, ВГИ и ГГО – отношение координат молниевых разрядов, совпавших с грозовыми очагами, полученными синоптической сетью, к общему числу грозовых очагов по синоптической сети;

2) несовпадение координат гроз от сетей TLN, WWLLN, ВГИ и ГГО – отношение молниевых разрядов, не совпавших с грозовыми очагами, отмеченными синоптической сетью, к общему числу грозовых очагов по синоптической сети.

Так как грозопеленгаторные сети фиксируют молниевые разряды, а синоптические станции – только грозы, то при анализе процента совпадений данных сети TLN с данными о грозах на синопти-

ческой станции молниевые разряды TLN объединялись в один грозовой очаг радиусом 15 км. Для сравнения молниевых разрядов по сети TLN с данными сетей WWLLN, ГГО и ВГИ оценивались отдельные молниевые вспышки.

Сравнение данных всех сетей с данными синоптических станций показано, что 30 мая 2020 г. совпадения составили 82%, 21 сентября 2020 г. – 80%. Результаты сравнения приведены в табл. 1.

В результате сравнения совпадения фиксации молний различными сетями с данными синоптических станций можно констатировать, что глобальные сети зафиксировали до 89% молний, а сравнительно далекие российские региональные сети – до 68%.

Глобальная сеть WWLLN 30 мая для всех гроз отражает самое большое количество электрических разрядов (38 против 28 у сети ГГО), 21 сентября по разным сетям зафиксировано сравнимое количество молниевых разрядов. Следовательно, для получения адекватной статистики возникающих гроз и их эффективного учета в численных прогнозах для регионов, которым свойственны грозы, необходимо учитывать показания глобальных сетей с дополнением, получаемым либо от других глобальных сетей, либо от доступных региональных. Этот тезис был проверен на численном эксперименте с прогнозом модели WRF-ARW.

Численные эксперименты

Для 30 мая 00:00 и 21 сентября 00:00 над Краснодарским краем были рассчитаны численные прогнозы на 2 сут с пространственным разрешением в 18 км и 41 уровень по вертикали. В расчетах использовались следующие параметризации физических процессов: конвекция – Kain–Fritsch; микрофизика облаков – NSSL2–moment Scheme with CCN Prediction; радиация – RRTMG Shortwave and Longwave Schemes; процессы в почве – Unified Noah Land Surface Model; планетарный пограничный слой – Bougeault–Lacarrere Scheme (BouLac) [11–13].

По результатам прогнозов и по данным 21-й синоптической станции Краснодарского края были выполнены оценки качества прогнозов приземных температуры и ветра, точки росы и осадков в экспериментах: 1) без усвоения данных грозопеленгации; 2) с усвоением данных сети WWLLN; 3) TLN; 4) ВГИ; 5) ГГО; 6) WWLLN + TLN; 7) с усвоением данных всех сетей.

Таблица 1

Результаты сравнения данных сети TLN с данными других сетей грозопеленгации

Дата	Количество разрядов, ед.						
	TLN	WWLLN	совпавших/ процент совпадения	ВГИ	совпавших/ процент совпадения	ГГО	совпавших/ процент совпадения
30.05.2020 г.	38	34	34/89%	29	26/68%	28	26/68%
21.09.2020 г.	56	56	45/80%	49	44/79%	55	43/77%

Результаты и обсуждение

Были рассчитаны (см. табл. 3 и 4) абсолютные ошибки приземных температур воздуха, температуры точки росы, давления на уровне моря, скорости ветра на 10 м и осадков в прогнозах без усвоения и с усвоением данных сетей гронопеленгаторов [16]. Оценки произведены на основе данных 21 метеостанции наблюдательной синоптической сети.

Из анализа табл. 2 и 3 видно, что ошибки температуры приземного воздуха в целом по области уменьшаются первые 24 ч в обоих случаях, несколько улучшается прогноз влажности и скорости ветра. Прогноз осадков улучшается до 36 ч. Наи-

меньшее влияние на прогноз оказывает усвоение данных региональной сети ГГО, так как ее датчики в основном расположены на северо-западе России.

Уменьшение абсолютной ошибки прогнозов невелико, так как приведены только средние значения данных по всей области.

На рис. 2 и 3 (цв. вкладка) представлены карты расхождений прогнозов осадков (мм), накопленных за 24 ч, без учета и с учетом усвоения данных сетей на примере двух случаев (рис. 2, 3, *а–ж*), и наблюдаемых осадков GPCP (Global Precipitation Climatology Project) [15], которые мы рассматриваем в качестве эталона. На рис. 2, 3 и 3, 3 приведены карты фактических гроз за 24 ч по разным сетям

Таблица 2

Абсолютные ошибки основных прогнозируемых параметров в прогнозах без усвоения и с усвоением данных сети гронопеленгаторов. Краснодарский край, 30 мая 2020 г.

Заблаговременность прогноза, ч	Без усв.	Усв. WWLLN	Усв. TLN	Усв. ВГИ	Усв. ГГО	Усв. WWLLN + TLN	Усв. все сети
<i>Приземная температура воздуха, °С</i>							
0	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
6	2,11	2,05*	2,05	2,05	2,07	2,05	2,07
12	2,15	2,02	2	2,4	2,51	2	2
24	2,08	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07
36	2,46	2,45	2,4	2,52	2,6	2,4	2,4
48	2,81	2,86	2,8	2,84	2,85	2,8	2,8
Среднее	2,40	2,38	2,35	2,45	2,48	2,35	2,4
<i>Приземная температура точки росы, °С</i>							
0	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77	2,77
6	1,90	1,87	1,78	1,78	1,81	1,78	1,78
12	2,32	2,38	2,27	2,25	2,31	2,27	2,25
24	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51
36	2,01	2,03	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01
48	3,01	3,06	3,06	3,06	3,06	3,06	3,05
Среднее	2,25	2,27	2,23	2,23	2,25	2,23	2,23
<i>Давление на уровне моря, гПа</i>							
0	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
6	0,61	0,64	0,60	0,65	0,67	0,60	0,60
12	1,08	1,06	0,89	1,01	1,06	0,89	0,89
24	1,79	1,80	1,70	1,77	1,79	1,70	1,70
36	1,07	0,96	0,95	1,11	1,15	0,95	0,95
48	0,86	0,80	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79
Среднее	1,05	1,03	0,97	1,04	1,06	0,97	0,97
<i>Скорость ветра, м/с</i>							
0	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
6	1,40	1,42	1,39	1,42	1,46	1,39	1,39
12	1,13	1,08	0,97	0,97	1,00	0,97	0,97
24	1,68	1,71	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70
36	1,98	2,11	2,05	2,07	2,11	2,05	2,05
48	1,54	1,55	1,54	1,55	1,55	1,55	1,54
Среднее	1,51	1,47	1,48	1,50	1,48	1,47	1,51
<i>Осадки, мм</i>							
12	0,19	0,17	0,17	0,2	0,2	0,17	0,17
24	2,78	3,81	3,62	3,64	3,64	3,62	3,63
36	1,3	1,67	1,44	1,54	1,56	1,44	1,39
48	3,07	2,49	2,24	2,34	2,35	2,24	2,25
Среднее	1,84	2,04	1,87	1,93	1,94	1,85	1,86

Абсолютные ошибки основных прогнозируемых параметров в прогнозах без усвоения и с усвоением данных сети грозопеленгаторов. Краснодарский край, 21 сентября 2020 г.

Заблаговременность прогноза, ч	Без усв.	Усв. WWLLN	Усв. TLN	Усв. ВГИ	Усв. ГГО	Усв. WWLLN + TLN	Усв. все сети
<i>Приземная температура воздуха, °С</i>							
0	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	
6	1,86	1,84	1,87	1,87	1,87	1,84	1,84
12	2,97	2,2	2,34	2,53	2,53	2,2	2,2
24	2	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
36	3,09	3,09	3,09	3,09	3,09	3,09	3,09
48	1,76	1,75	1,75	1,75	1,77	1,75	1,75
Среднее	2,3	2,14	2,17	2,20	2,20	2,14	2,14
<i>Приземная температура точки росы, °С</i>							
0	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13
6	2,25	2,3	2,39	3	3	2,3	2,3
12	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18
24	1,92	1,92	1,91	1,92	1,92	1,91	1,91
36	1,59	1,71	1,47	1,52	1,52	1,47	1,47
48	2	2	2	2	2	2	2
Среднее	2,01	2,04	2,01	2,13	2,13	2,00	2,00
<i>Давление на уровне моря, гПа</i>							
0	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
6	0,81	0,81	0,80	0,81	0,80	0,80	0,80
12	0,65	0,65	0,64	0,65	0,65	0,65	0,64
24	1,08	1,07	1,08	1,08	1,08	1,07	1,07
36	1,32	1,35	1,31	1,32	1,37	1,31	1,31
48	0,78	0,87	0,92	0,95	0,94	0,87	0,87
Среднее	0,88	0,90	0,90	0,91	0,91	0,89	0,89
<i>Скорость ветра, м/с</i>							
0	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
6	1,93	1,92	1,94	1,94	2	1,92	1,92
12	2,43	2,54	2,54	2,62	2,63	2,54	2,54
24	1,92	2	2	2,03	2,03	2	2
36	1,65	1,76	1,74	1,74	1,73	1,75	1,73
48	2,75	2,74	2,74	2,74	2,81	2,74	2,74
Среднее	2,02	2,07	2,07	2,09	2,11	2,07	2,06
<i>Осадки, мм</i>							
12	0,23	0,31	0,37	0,37	0,38	0,31	0,31
24	0,47	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
36	0,92	0,91	0,91	0,92	0,92	0,91	0,91
48	0,71	0,78	0,85	0,78	0,84	0,78	0,78
Среднее	0,58	0,62	0,66	0,64	0,66	0,62	0,62

* Полужирным выделены наименьшие ошибки.

грозопеленгации и по данным наблюдений на синоптических станциях для двух исследуемых случаев.

Из анализа карт накопленных молниевых очагов за 24 ч по разным сетям и карт расхождения прогнозов осадков, накопленных также за сутки, без и с усвоением данных сетей (рис. 2 и 3), видно, что наименьшее отклонение наблюдается в случае с усвоением данных сетей WWLLN + TLN и данных всех сетей в совокупности.

Заключение

Настоящая работа продолжает исследования авторов о влиянии усвоения данных сетей грозопеленгации на качество прогноза погоды по численной модели. Были выполнены оценки качества прогнозов некоторых метеовеличин без усвоения инфор-

мации о грозах и с усвоением данных глобальных и региональных сетей отдельно и в совокупности для двух случаев гроз 30 мая и 21 сентября 2020 г. над Краснодарским краем. Использовались: WRF-LTNGDA; прогностическая модель WRF-ARW версии 3.9.1; информация с сетей WWLLN, ГГО, ВГИ, а также новой глобальной грозометрической сети – TLN. Получены следующие результаты:

1. Оценки совпадения и несовпадения случаев появления молний по данным сети TLN с синоптическими данными WWLLN, ВГИ и ГГО позволяют сделать вывод о достаточно высоких значениях совпадения (до 89%).

2. Локализация молниевых разрядов по данным сетей (включая TLN) близка к зоне грозовой деятельности, полученной по синоптической сети.

3. Наименьшие абсолютные ошибки приземных температуры воздуха и точки росы, давления,

скорости ветра и осадков наблюдаются в случае с усвоением данных WWLLN и TLN, а также всех сетей гронопеленгации.

4. На картах осадков (см. рис. 2 и 3) можно видеть наибольшие отклонения от эталона прогнозов без усвоения, а наименьшие — усвоением данных всех сетей гронопеленгации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № А 19-05-00047).

1. *Giannaros T.M., Kotroni V., Lagouvardos K.* WRF-LTNGDA: A lightning data assimilation technique implemented in the WRF model for improving precipitation forecasts // *Environ. Model. Soft.* 2016. V. 76. P. 54–68.
2. *Mansell E.R., Ziegler C.L., MacGorman D.R.* A lightning data assimilation technique for mesoscale forecast models // *Mon. Weather Rev.* 2006. V. 135. P. 1732–1748.
3. *Рубинштейн К.Г., Губенко И.М., Игнатов Р.Ю., Тихоненко Н.Д., Юсупов Ю.И.* Эксперименты по усвоению данных сети гронопеленгации // *Оптика атмосф. и океана.* 2019. Т. 32, № 11. С. 936–941; *Rubinstein K.G., Gubenko I.M., Ignatov R.Yu., Tikhonenko N.D., Yusupov Yu.I.* Experiments on lightning detection network data assimilation // *Atmos. Ocean. Opt.* 2020, V. 33, N 2. P. 219–228.
4. *Губенко И.М., Рубинштейн К.Г.* Тестирование комплексного метода прогноза молниевой активности // *Оптика атмосф. и океана.* 2020. Т. 33, № 12. С. 949–957; *Gubenko I.M., Rubinstein K.G.* Analysis of comprehensive forecast of lightning activity // *Atmos. Ocean. Opt.* 2020. V. 33, N 12. P. 949–957.
5. *Rubinstein K.G., Gubenko I.M., Yusupov Yu.I., Tikhonenko N.D.* Experiments on lightning data assimilation: Preliminary results // *IOP Conf. Ser.* 2019. V. 698, N 4. P. 1–7.
6. *Rubinstein K.G., Gubenko I.M., Ignatov R.Yu., Tikhonenko N.D., Yusupov Yu.I.* Experiments on lightning detection network data assimilation // *Atmos. Ocean. Opt.* 2020. V. 33, N 2. P. 219–228.
7. *Skamaroch W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Duda M.G., Huang X.Yu., Wang W., Powers J.G.* A description of the Advanced Research WRF Version 3. Boulder, Colorado, USA: National Center of Atmospheric Research, 2008. 113 p.
8. *Lay E.H.* Investigating lightning-to-ionosphere energy coupling based on VLF lightning propagation characterization: PhD Thesis. Seattle University of Washington, 2008, 26 p.
9. *Earth Networks Total Lightning Network: Comprehensive Solutions for Worldwide Lightning Detection and Severe Weather Prediction and Advanced Alerting.* [Electronic resource]. https://earthnetworks.com/Portals/0/pdf/ENTLN%20Global%20Slick_v4.pdf. (last access: 21.05.2021).
10. *Аджиев А.Х., Стасенко В.Н., Тапасханов В.О.* Система гронопеленгации на Северном Кавказе // *Метеорол. и гидрол.* 2013. № 1. С. 5–11.
11. *Снегуров А.В., Снегуров В.С.* Экспериментальная гронопеленгационная система // *Труды ГГО.* 2012. Вып. 567. С. 188–200.
12. *Kain J.S.* The Kain–Fritsch convective parameterization: An update // *J. Appl. Meteorol.* 2004. V. 43, N 1. P. 170–181.
13. *Ek M.B., Mitchell K.E., Lin Y., Rogers E., Grunmann P., Koren V., Gayno G., Tarpley J.D.* Implementation of NOAA land surface model advances in the NCEP operational mesoscale Eta model // *J. Geophys. Res.* 2003. V. 108, N 22. P. 8851.
14. *Janjic Z.I.* The step–mountain Eta coordinate model: Further developments of the convection, viscous sublayer and turbulence closure schemes // *Mon. Weather Rev.* 1994. V. 122. P. 927–945.
15. *РД 52.27.284-91.* Руководящий документ. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиофизических прогнозов. Москва: Комитет Гидрометеорологии при Кабинете Министров СССР, 1991. 149 с.
16. *Harold F. Pierce.* Global Precipitation Analysis [Electronic resource]. <https://precip.gsfc.nasa.gov/> (last access: 11.05.2021).

I.M. Gubenko, K.G. Rubinstein. An example of data assimilation from several lightning detection networks in numerical weather forecast.

This influence of assimilation of data from lightning detection networks on the quality of the weather forecast using the numerical model is analysed. For 10 dates of 2020 over the Krasnodar Territory, estimates of the quality of forecasts for some meteorological parameters were calculated: without lightning assimilating; with assimilation of data from global and regional networks separately; with assimilation of data from all networks. WRF-LTNGDA was used as the assimilation procedure, and WRF-ARW model ver. 3.9.1 was used as a predictive model. We have studied the influence of information from: WWLLN, GGO, and VGI networks, as well as the new global lightning network TLN.

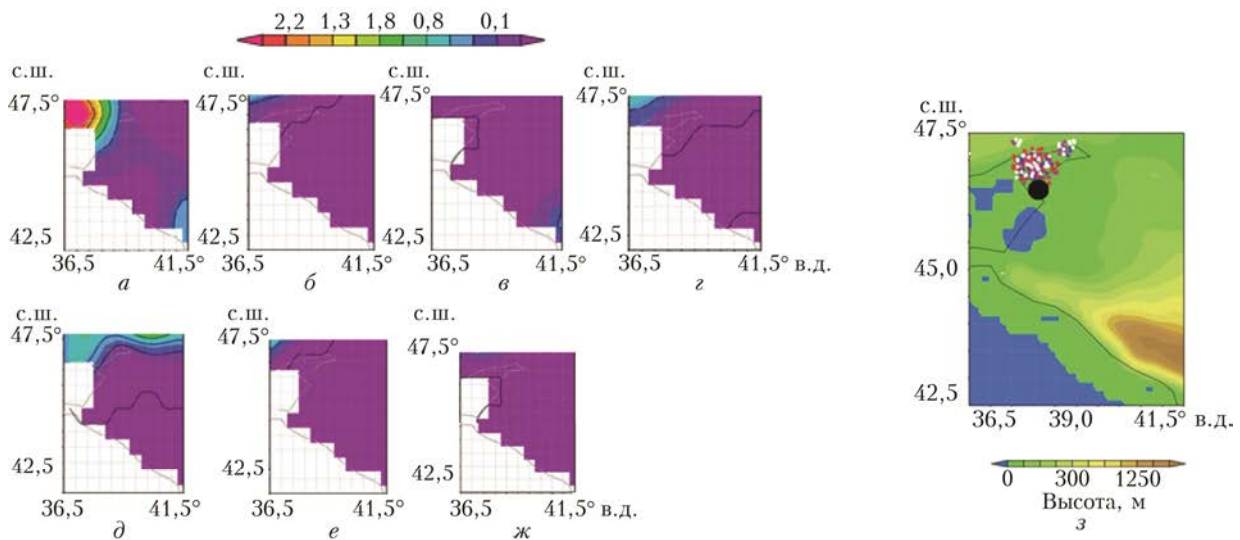


Рис. 2. Карты расхождения прогнозов осадков, накопленных за 24 ч, без усвоения данных сетей и с усвоением, а также карта фактических гроз по различным сетям грозопеленгации, 30 мая 2020 г., Краснодарский край: *а* – GPCP без усвоения данных; *б* – GPCP с усвоением данных сети WWLLN; *в* – TLN; *г* – ВГИ; *д* – ГГО; *е* – TLN + WWLLN; *ж* – GPCP с усвоением данных всех сетей; *з* – карта фактических гроз; красными точками обозначены молниевые разряды по сети TLN, синими – по WWLLN, сиреневыми – по ВГИ, белыми – по ГГО, черной точкой показаны грозовые очаги по синоптическим данным

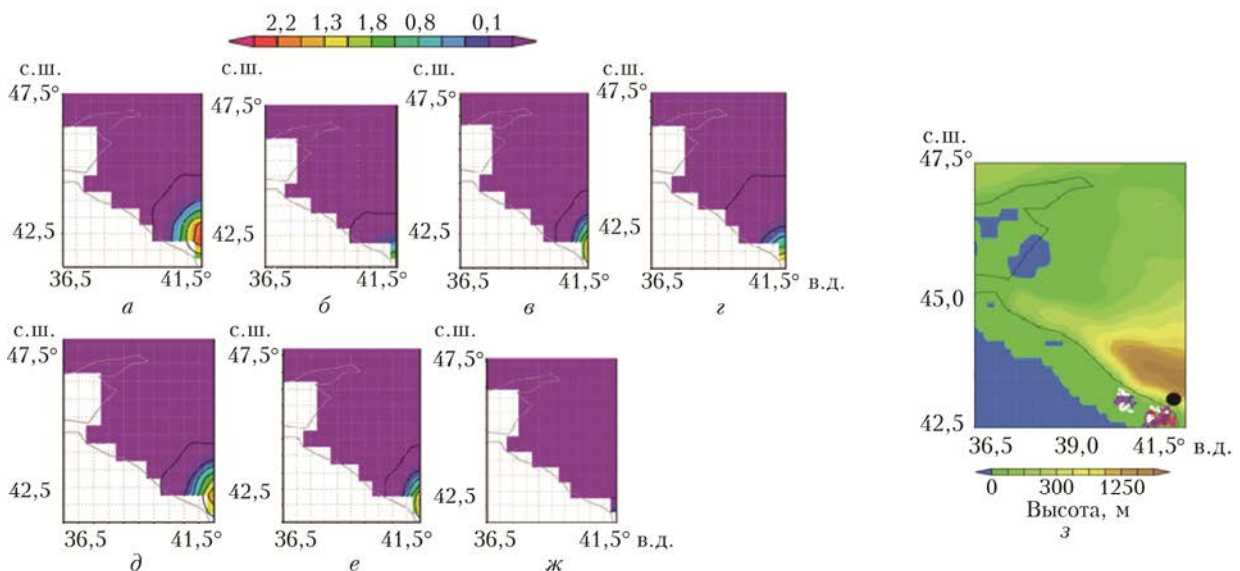


Рис. 3. Карты расхождения прогнозов осадков, накопленных за 24 ч, без усвоения данных сетей и с усвоением, а также карта фактических гроз по различным сетям грозопеленгации, 21 сентября 2020 г., Краснодарский край: *а* – GPCP без усвоения данных; *б* – GPCP с усвоением данных сети WWLLN; *в* – TLN; *г* – ВГИ; *д* – ГГО; *е* – TLN + WWLLN; *ж* – GPCP с усвоением данных всех сетей; *з* – карта фактических гроз; обозначения см. на рис. 2