Анализ причин выпадения крупного града в Приамурье 13 июня 2020 г.

Н. И. Перерва, А. А. Филей, Ю. А. Шамилова

*Дальневосточный Центр НИЦ «Планета», Хабаровск, 680000, Россия
E-mail: pererva.nikita@mail.ru*

13 июня 2020 г. на территории Еврейской автономной области наблюдалось опасное метеорологическое явление — крупный град, причинами образования которого стали взаимодействие контрастных воздушных масс, интенсивный прогрев и «взрывной» характер конвекции. Явление не было предсказано, носило локальный характер и относится к крайне редким на территории Приамурья. Анализ аэросиноптического материала не позволил выявить признаки, которые могли бы помочь в прогнозе такого рода экстремальных событий. Однако на примере использования данных космического аппарата Himawari-8 показано, что в период развития кучево-дождевой облачности наблюдались признаки, по которым возможно было спрогнозировать крупный град, а именно: формирование куполов облаков вертикального развития со значительным превышением над высотой тропопаузы, что говорит об очень интенсивной конвекции, выделение очагов ледяных кристаллов и крупы над районами градобития, а также характерных признаков очень мощных восходящих потоков, необходимых для образования града, на снимках RGB-продукта «Конвективные штормы». Продукты, получаемые с помощью дистанционного зондирования Земли и направленные на мониторинг атмосферной конвекции, показали свою значимость и эффективность в качестве необходимых дополнительных инструментов в режиме оперативной работы прогностических отделов Гидрометцентра России.

Ключевые слова: крупный град, купола кучево-дождевых облаков, graupel water path, ледяные кристаллы, RGB-продукт

Одобрена к печати: 04.09.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-300-305

В летний период для территории Приамурья характерна активная грозовая деятельность. Немаловажную роль в развитии конвекции в бассейне Амура играет взаимодействие разнородных воздушных масс, например при выносе холодного морского воздуха с Охотского моря на прогретую поверхность континента. Число дней с грозами за год на юге Дальнего Востока значительно варьируется. Так, например, на северо-западном побережье Охотского моря оно составляет всего 3–5, в Хабаровске достигает в среднем 22, а в Благовещенске — 26 (Научно-прикладной..., 1992). Крупный град для Приамурья — явление очень редкое, за период 2016–2020 гг. было зафиксировано всего 6 случаев, все они не были предусмотрены штормовыми предупреждениями и нанесли серьёзный урон сельскому хозяйству и имуществу населения, поэтому разработка методик прогноза такого рода явлений — актуальная задача.

13 июня 2020 г. на территории Сидовичского р-на Еврейской автономной области (ЕАО) наблюдалось выпадение крупного града диаметром, согласно фото- и видеоматериалам, порядка 20–30 мм и более. По результатам обследования оперативной дежурной службы Центра управления в кризисных ситуациях Главного управления Министерства по чрезвычайным ситуациям России по ЕАО и свидетельствам очевидцев, явление наблюдалось примерно в 17:50 по местному времени, а его продолжительность достигала 15 мин. В результате градобития были повреждены крыши десятков строений, побиты оконные рамы, теплицы и насаждения дачных участков, а материальный ущерб оценивается примерно в 8–9 млн руб.

Крупный град формируется при значительной неустойчивости атмосферы, которая способствует наличию очень мощных восходящих потоков воздуха, способных удерживать градины в воздухе (Зверев, 1977). Это оказывается необходимым условием для образования достаточно больших градин, которые будут способны достичь поверхности земли прежде, чем растают. Погоду 13 июня над южными и центральными районами Хабаровского края, а так-

же территории ЕАО определяли малоградиентное поле пониженного давления и зона контрастного арктического фронта. Анализ аэросиноптического материала — зондирования на аэрологических станциях Хабаровск и Сутур, а также вспомогательной информации (индексов неустойчивости атмосферы) показал, что в целом атмосфера была условно устойчива (энергия неустойчивости отрицательна) с признаками неустойчивости по некоторым вспомогательным параметрам (Архив аэрологического зондирования атмосферы Университета Вайоминга, США, *англ.* University of Wyoming, <http://weather.uwyo.edu/cgi-bin/sounding?region=seasia&TYPE=TEXT%3ALIST&YEAR=2020&MONTH=06&FROM=1300&TO=1312&STNM=31736&ICE=1>). Вертикальный градиент температуры воздуха в нижней и средней тропосфере достигал $0,6\text{--}0,8\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$, что говорит о влажнонеустойчивой стратификации атмосферы. Таким образом, на основании имеющегося аэросиноптического материала сделать вывод о значительной неустойчивости атмосферы, необходимой для продуцирования опасных конвективных явлений, было нельзя. Существенное ограничение накладывало время аэрологического зондирования — 00:00 и 12:00 UTC, которое не приходится на период активной фазы термической конвекции, а также недостаток аэрологических наблюдений как во временном, так и в пространственном выражении.

Всё большую роль в практике отделов метеорологических прогнозов играет спутниковая информация, спектр которой становится настолько широким, что позволяет анализировать облачность в разных плоскостях с применением различных методик или принимая во внимание конкретные величины. Одним из признаков интенсивных восходящих потоков воздуха являются купола кучево-дождевых облаков (*англ.* overshooting tops). Эти образования могут быть детектированы со спутника в виде выступов над вершиной облака с характерной тенью на ней в сторону, противоположную Солнцу (*рис. 1*). Исследования (Bedka, 2011) показывают, что кучево-дождевые облака с куполами чаще сопровождаются опасными конвективными явлениями, чем облачность вертикального развития без этих образований.

Рис. 1. Изображение облачности и разность $IR - NWP$ (слева в нижнем углу) в районе Хабаровска за 08:00 UTC 13.06.2020 со спутника Himawari-8 ($R - 0,6\text{ мкм}$, $G - 0,8\text{ мкм}$, $B - 2,2\text{ мкм}$); купола кучево-дождевых облаков обозначены красными кружками

Согласно работе (Silva Neto et al., 2016), отрицательная разность измерений инфракрасного канала (IR , *англ.* Infrared) с длиной волны $10,8\text{ мкм}$ и расчётной модельной температуры тропопавзы (NWP , *англ.* numerical weather prediction) ($IR_{10.8} - NWP$) свидетельствует о наличии куполов кучево-дождевых облаков. Физически это объясняется тем, что если вершина облака

«пробила» тропопаузу, то температура его верхней границы (ВГО) окажется ниже температуры тропопаузы, т.е. разность примет отрицательные значения (≤ -2 К). На *рис. 1* значения данной разности достигают -6 К, что говорит о значительном превышении вершины облака (overshooting top) над тропопаузой. Причём там, где наблюдалась отрицательная разность IR – NWP и на снимке определялся купол кучево-дождевого облака, было отмечено выпадения крупного града.

Формирование града в кучево-дождевых облаках происходит в результате слияния переохлаждённых капель воды с зёрнами крупы, при котором наблюдается замерзание капель. Наиболее крупные градины образуются вследствие смерзания более мелких (Матвеев, 1984). Параметр graupel water path, который отражает наличие ледяной крупы в облаке, вычисляется на базе программного комплекса MIRS (Microwave..., 2007). На *рис. 2* видно, что облака, из которых выпал крупный град, имели в своей структуре очаги с крупой, причём их положение в целом соответствует району градобития.

Рис. 2. Распределение параметра graupel water path за 08:17 UTC 13.06.2020 по данным спутника NOAA-19 (прибор AMSU + MHS)

О высоком содержании ледяных кристаллов, необходимых для роста градин, свидетельствует также их значительная концентрация в верхней тропосфере на уровне около 400 гПа по данным спутникового зондирования атмосферы (*рис. 3*). Значение этого параметра, как видно на рисунке, меняется скачкообразно в зависимости не только от высоты, но и координат выбранной точки. Пиковые значения, обозначенные на *рис. 3* синей кривой (синий маркер на карте), соотносятся с очагами graupel water path (*рис. 2*) и разностью IR – NWP (см. *рис. 1*), указывающей на наличие купола кучево-дождевого облака. Таким образом, описанные выше параметры в дальнейшем могут быть полезными для отслеживания градоопасной облачности.

Всё более широкое применение в практике метеорологических прогнозов получают продукты так называемых RGB-композигов. На основе сочетания определённых каналов спутника и их разностей получают снимки, по цветам которых можно судить о происходящих в атмосфере процессах, выделять конкретные объекты (зоны туманов, льда, снега, районов вегетации растений и т.д.). Продукт «Конвективные штормы» (Shimizu, 2014) позволяет обнаруживать кучево-дождевые облака с наиболее мощными восходящими потоками воздуха, в зоне которых вероятность развития опасных явлений конвективного характера выше. Жёлтый цвет конвективной облачности указывает на наличие в ней мелких ледяных кри-

сталлов, образование которых и становится признаком интенсивных восходящих движений воздуха (рис. 4, см. с. 303), необходимых для формирования града, на что указывалось выше. Подтверждением данных суждений выступают белёлые участки в канале IR 3,9 мкм.

Рис. 3. Вертикальные профили содержания ледяных кристаллов (мм) в районе Хабаровска за 08:18–08:33 UTC 13.06.2020 по данным спутника NOAA-19 (прибор AMSU + MHS)

Рис. 4. Продукт «Конвективные штормы» (справа) и снимки IR 3,9 мкм (слева) в районе Хабаровска за 07:00 и 08:00 UTC (сверху вниз) 13.06.2020 по данным спутника Himawari-8

Таким образом, можно сделать вывод, что выпадение крупного града в Сидовичском р-не ЕАО не могло быть предсказано по данным имеющегося аэросиноптического материала в связи с его ограниченностью во времени и пространстве, а также в силу недостаточной плотности сети метеорологических и аэрологических наблюдений. Продукты, получаемые с помощью дистанционного зондирования Земли и направленные на мониторинг атмосферной конвекции, показали свою значимость и эффективность в качестве необходимых дополнительных инструментов в режиме оперативной работы прогностических отделов Гидрометцентра России. Современные возможности спутникового мониторинга атмосферных процессов позволяют выявлять характерные особенности развития облачности, что наиболее актуально для быстроразвивающихся конвективных облаков, способных продуцировать опасные явления погоды. Анализ получаемой с космических аппаратов информации даёт возможность улучшить качество прогноза такого рода явлений в условиях низкой плотности метеорологических станций и отсутствия сети доплеровских метеорологических радиолокаторов, что в наибольшей степени актуально для территории Сибири и Дальнего Востока.

Литература

1. Зверев А. С. Синоптическая метеорология. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Гидрометиздат, 1977. 542 с.
2. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии, физика атмосферы. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 502 с.
3. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Ч. 1–6. Вып. 25: Хабаровский край, Амурская область. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 373 с.
4. Bedka K. M. Overshooting cloud top detections using MSG SEVIRI Infrared brightness temperatures and their relationship to severe weather over Europe // *Atmospheric Research*. 2011. V. 99. Iss. 2. P. 175–189. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809510002589>.
5. Microwave Integrated Retrieval System (MIRS): User's Manual. Version 1.2. 2007. 64 p. URL: ftp://ftp.cira.colostate.edu/ftp/Kidder/MIRS_Documents/MIRS_Users_Manual.pdf.
6. Shimizu A. Outline of RGB Composite Imagery / Meteorological Satellite Center. JMA. 2014 (Rev. 2015). 86 p. P. 57–62. URL: https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/satellite/VLab/Outline_RGB_composite.pdf.
7. Silva Neto C. P., Alves Barbosa H., Assis Beneti C. A. A method for convective storm detection using satellite data // *Atmósfera*. 2016. V. 29. Iss. 4. P. 343–358. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187623617300358>.

Analysis of the causes of hailstorm in the Amur region on June 13, 2020

N. I. Pererva, A. A. Filei, Yu. A. Shamilova

*Far-Eastern Center of SRC "Planeta", Khabarovsk 680000, Russia
E-mail: pererva.nikita@mail.ru*

On June 13, 2020, a dangerous meteorological phenomenon was observed on the territory of the Jewish Autonomous Region — large hail caused by interaction of opposite air masses, intense heating and explosive convection. Large hail is extremely rare in the Amur region. Forecasters did not predict the phenomenon because the analysis of aero synoptic material did not reveal signs that could help predict such extreme events. However, using data from the Himawari-8 spacecraft, it is shown that during the development of cumulonimbus clouds, there were signs that could be used to predict large hail, namely, the formation of vertical cloud domes with a significant excess over the height of the tropopause, which indicates very intense convection, the allocation of pockets of ice crystals and grains over areas of hail, as well as characteristic signs of very powerful updrafts necessary for the formation of hail, in the images of the RGB product "Convective storms". Products obtained by remote sensing of the Earth and aimed at monitoring atmospheric convection have shown their significance and ef-

fectiveness as necessary additional tools in the operational mode of predictive departments of the Hydrometeorological Research Center of Russian Federation (Hydrometcenter of Russia).

Keywords: large hail, overshooting tops, graupel water path, ice crystals, RGB products

Accepted: 04.09.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-300-305

References

1. Zverev A. S., *Sinopticheskaya meteorologiya* (Synoptic meteorology), Leningrad: Gidrometizdat, 1977, 542 p.
2. Matveev L. T., *Kurs obshchei meteorologii, fizika atmosfery* (General Meteorology Course, Atmospheric Physics), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984, 502 p.
3. *Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu SSSR, Ser. 3, Ch. 1–6, Vyp. 25: Khabarovskii krai, Amurskaya oblast'* (Scientific and Applied Climate Reference Book of the USSR, Ser. 3, Pt. 1–6, Iss. 25, Khabarovsk Territory, Amur Region), Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992, 373 p.
4. Bedka K. M., Overshooting cloud top detections using MSG SEVIRI Infrared brightness temperatures and their relationship to severe weather over Europe, *Atmospheric Research*, 2011, Vol. 99, Issue 2, pp. 175–189, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809510002589>.
5. *Microwave Integrated Retrieval System (MIRS): User's Manual, Version 1.2*, 2007, 64 p., available at: ftp://ftp.cira.colostate.edu/ftp/Kidder/MIRS_Documents/MIRS_Users_Manual.pdf.
6. Shimizu A., *Outline of RGB Composite Imagery*, Meteorological Satellite Center, JMA, 2014 (Rev. 2015), 86 p., pp. 57–62, URL: https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/satellite/VLab/Outline_RGB_composite.pdf.
7. Silva Neto C. P., Alves Barbosa H., Assis Beneti C. A., A method for convective storm detection using satellite data, *Atmósfera*, 2016, Vol. 29, Issue 4, pp. 343–358, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187623617300358>.