

Применение результатов спутниковой классификации для построения комплексных карт

Волкова Е. В., Кухарский А. В., Садовникова Е. В.

ФГБУ «НИЦ «Планета»

123242, Москва, Большой Предтеченский пер., д.7.

E-mail: quantocosa@bk.ru, kukharsky@planet.iitp.ru, katia.sadovnikova@mail.ru

Ключевые слова: спутниковые карты, типы облаков, осадки, опасные явления погоды

В ФГБУ ЕЦ «НИЦ «Планета» разработаны и находятся уже несколько лет в оперативной эксплуатации автоматизированные программные комплексы (АПК) восстанавливающие по спутниковым данным об альбедо (А) и радиационной температуре (Тр) в разных спектральных каналах макро-и микрофизические характеристики облачности, а также зоны осадков и опасных явлений погоды (ОЯП) разной интенсивности и вероятности. В качестве входной информации АПК используют преимущественно значения Тр и иногда А (в т.ч. их разности) по данным приборов SEVIRI космического аппарата (КА) серии Meteosat, AVHRR КА серии NOAA, МСУ-МР КА серии Метеор-М, МСУ-ГС-ВЭ КА серии Арктика-Л и МСУ-ГС КА Электро-Л №4, а также поля вертикального распределения температуры воздуха в атмосфере и атмосферного давления на уровне моря из численного прогноза модели NCEP GFS (США, сетка 0,5°, сроки 0, 6, 12 и 18 ч UTC) или Exeter (Великобритания, сетка 2,5°, сроки 0 и 12 ч UTC) и модель цифрового рельефа gtopo30 (<http://eros.usgs.gov>).

В основе АПК лежат разные варианты оригинальной авторской Комплексной пороговой методики (КПМ) дешифрирования и классифицирования по косвенным признакам макро- и микрофизических параметров облачности, зон осадков и ОЯП разной вероятности и интенсивности [1-4]. Пороговые значения предикторов рассчитываются для каждого пиксела спутникового изображения как функции высоты места над уровнем моря, географической широты, высоты солнца, температуры подстилающей поверхности, температуры приземного воздуха, приведённой к уровню моря и максимальной в атмосферном столбе температуры воздуха, угла спутникового визирования и др. Они получены эмпирическим путём и учитывают климатические особенности облачности и метеоявлений для рассматриваемой территории, а также сезонность, зональность и суточный ход значений их характеристик. В КПМ соблюдается строгий порядок классификации, так как параметры облачности и осадков, полученные на начальных этапах классификации, используются в дальнейшем. Тест считается пройденным, если выполнены все условия в нём. Изначально все пикселы считаются безоблачными – осуществляется поиск облачных

пикселей. Выделение классов/градаций всегда происходит по нарастающей – от отсутствия явления к его максимальному значению. Частично занятые облачностью или осадками пиксели считаются соответствующе облачными или с осадками.

Для каждого срока спутникового наблюдения дешифрируется: облачная маска, а затем облачные пиксели классифицируются или для них рассчитываются следующие характеристики: тип облачности по классификации ВМО (Всемирная метеорологическая организация), максимальная водность и водозапас облачного слоя, температура верхней границы облаков (ВГО), высота ВГО над уровнем моря, барическая высота ВГО, высота нижней границы облачности над подстилающей поверхностью, фазовое состояние воды в облачных частицах вблизи ВГО, толщина облачного слоя, оптическая плотность и толщина облачного слоя, эффективный радиус облачных частиц, максимальная в пределах пикселя мгновенная интенсивность осадков, тип осадков у поверхности земли, зоны гроз, града и обледенения в облаках разной вероятности и интенсивности, высота над уровнем моря верхней и нижней границ слоя значимого обледенения. Выходные продукты получают в виде растровых карт и соответствующих им числовых матриц точных значений или кодов классов/градаций.

Используя информацию о макро- и микрофизических характеристиках облаков, а также осадках и ОЯП АПК дополнительно строят более сложные (комплексные) карты (см. табл. 1). Для построения этих карт уже не требуются спутниковые данные – только результаты классификации АПК первого уровня сложности (простые карты), а отображаемая на них информация даёт представление одновременно о нескольких характеристиках облаков, осадков и ОЯП (см. табл. 1 и примеры на рис. 1-9). Комплексные карты второго уровня сложности существенно облегчают и ускоряют работу дежурного синоптика, который вместо совмещённого анализа нескольких карт использует только одну карту со специально выделенными для него важными компонентами.

Таблица 1. Сводная информация о комплексных картах

Название карты	Предикторы	Назначение карты
Стадии развития мощных кучево-дождевых облаков	cltyp, dhcl, hrvgo	выделение мощных Сb в трёх стадиях развития, в т.ч. в составе многослойной облачности
Тип облаков для авиации	cltyp, I _{max}	перегруппировка облаков по классификации ВМО в зависимости от вероятности выпадения осадков и наличия в них ОЯП
Количество осадков, выпавших за 15 мин в среднем по площади пиксела	I _{max}	быстрая прикидка количества осадков, выпавших за небольшой промежуток времени (например, за несколько часов по нескольким картам)
Средняя по площади пиксела интенсивность осадков	I _{max}	определение средней по площади пиксела мгновенной интенсивности осадков для сопоставления с другими источниками информации об осадках
Гололёдные явления на поверхности земли, связанные с выпадением осадков	prtyp, I _{max}	выявление потенциально возможных зон гололёда/гололедицы из-за выпавших осадков (вероятность и интенсивность наземного обледенения связана с интенсивностью осадков)
Низкая облачность	hnго, cltyp, Сb	выявление слоистых и конвективных облаков с высотой НГО менее 500 м
Вероятность низкой облачности	hnго, cltyp, Сb	выявление слоистых и конвективных облаков с высотой НГО менее 1000 и менее 500 м
Туман	hnго, cltyp, prtyp, F	выявление зон потенциально возможного однослойного тумана
Внутримассовая и фронтальная облачность с конвективными явлениями	cltyp, I _{max} , гроза, град	выделение зон многослойной преимущественно конвективной облачности, в т.ч. с осадками и ОЯП разной интенсивности

Примечание. Условные обозначения: cltyp – типы облаков ВМО, prtyp – тип осадков у поверхности земли, hrvgo – высота ВГО над подстилающей поверхностью, hnго – высота НГО над подстилающей поверхностью, I_{max} – максимальная мгновенная интенсивность осадков, Сb – стадии развития Сb, dhcl – толщина облачного слоя без безоблачных прослоек, F – относительная влажность воздуха из численного прогноза.

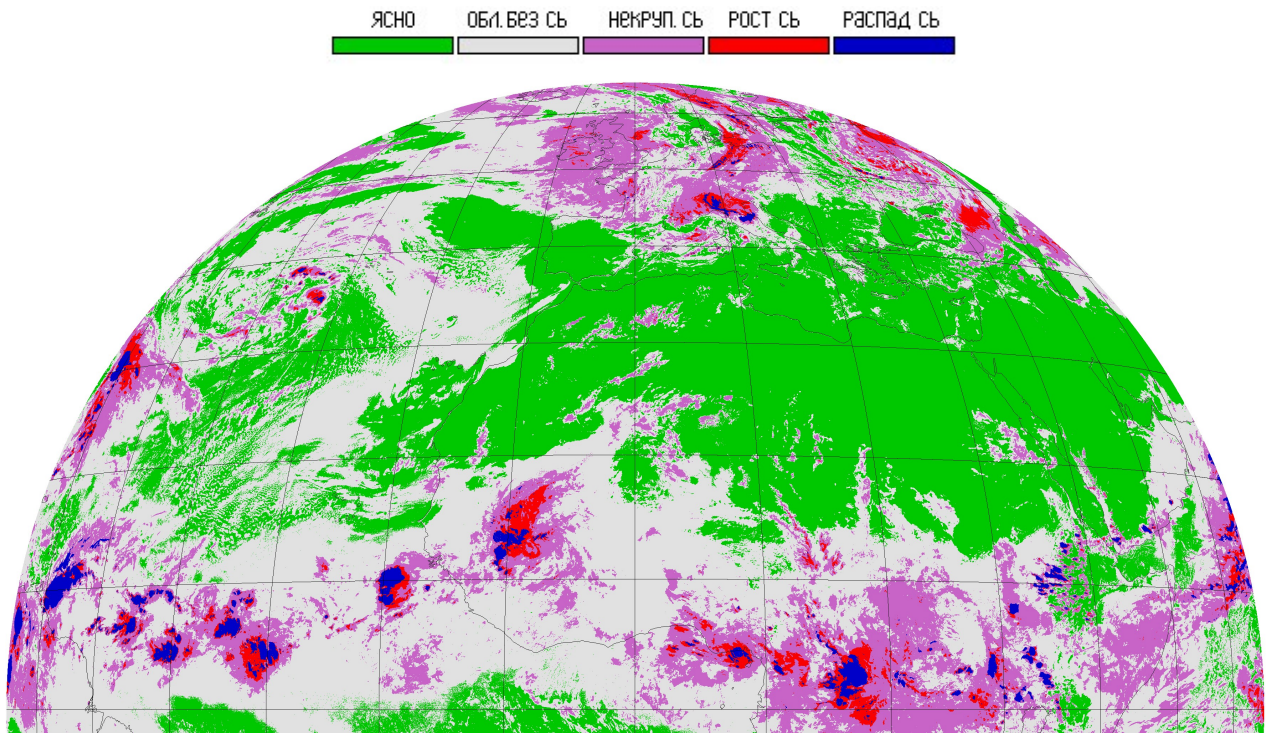


Рис. 1. Стадии развития мощных кучево-дождевых облаков (фрагмент полного круга обзора SEVIRI КА Meteosat-11 (0° в.д.), АПК «SEVIRIexeter», 30 июня 2024 г., 12:00 UTC, поперечная азимутальная проекция виртуального спутника)

Примечание. Классы: «ясно» - преимущественно без облаков; «обл. без Сь» – любая облачность без Сь; «некруп.Сь» – относительно небольшие Сь в стадии роста, максимального развития или начала разрушения, лысые, с перистыми или высокослоистыми, в т.ч. в составе многослойных (Сь calv., Сь+As, Сь+Сi, Ns,Сь); «рост Сь» – очень мощные Сь в стадии максимального развития (Сь сар.) (преобладают восходящие движения в облаке, ливневые осадки умеренные или сильные, возможны гроза и град у земли, обледенение преимущественно сильное); «распад Сь» – очень мощные Сь в стадии начала распада (преобладают нисходящие движения в облаке, ливневые осадки умеренные или сильные, возможны гроза и град у земли) (Сь inc.).

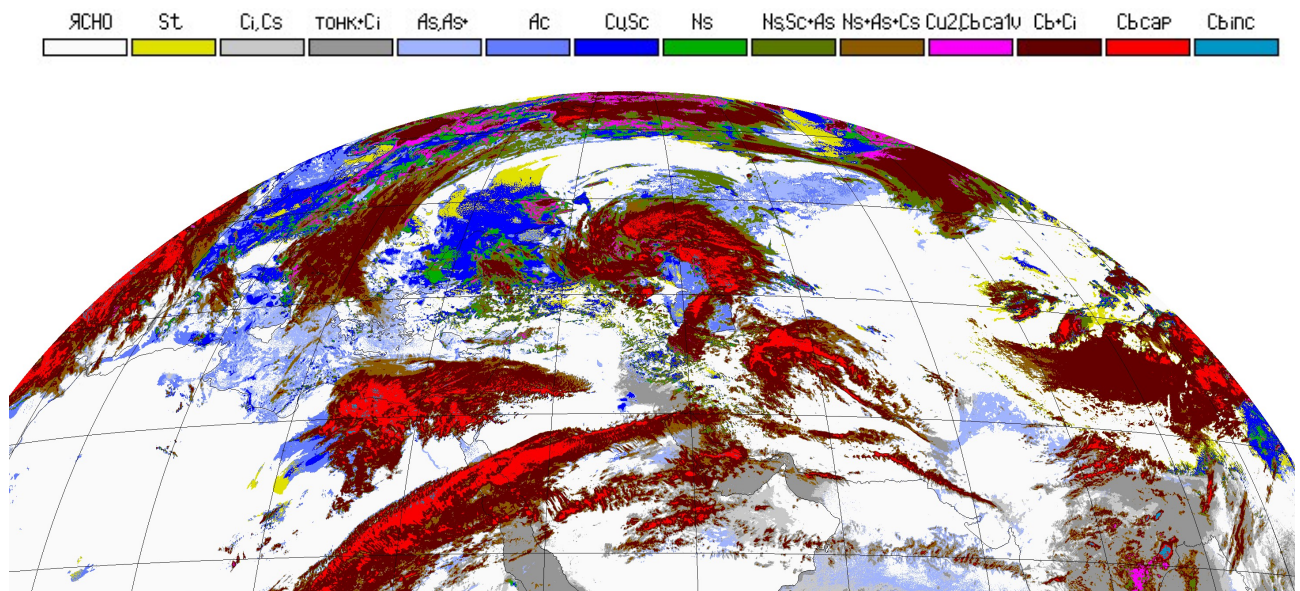


Рис. 2. Тип облаков для авиации (фрагмент полного круга обзора SEVIRI КА Meteosat-9 (45,5° в.д.), АПК «SEVIRInсер», 16 марта 2024 г., 9:00 UTC, поперечная азимутальная проекция виртуального спутника)

Примечание. Классы: «ясно» - преимущественно без облаков; «St» - однослойные низкие слоистообразные, в т.ч. туман); «Сi, Cs» - однослойные перистообразные, без осадков; «тонкие+Сi» - многослойная высокая тонкая: перистые над оптически тонкими облаками среднего или нижнего яруса, без осадков; «As, As+» - однослойные высокослоистые или многослойные слоистообразные: высокослоистые над оптически тонкой облачностью нижнего яруса, без осадков; «Ac» - некрупные кучевообразные, без осадков; «Сu, Sc» - относительно крупные кучевообразные, возможны осадки; «Ns» - слоисто-дождевые, возможны осадки; «Ns, Sc+As» - многослойная невысокая преимущественно слоистообразная: средняя над нижней, возможны осадки; «Ns+As+Cs» - многослойная высокая преимущественно слоистообразная: верхняя над нижней и/или средней, возможны осадки; «Сu2, Сb, сalv.» - мощные кучево-дождевые лысые в стадии роста, возможны осадки; «Сb+Сi» - многослойная высокая кучевообразная: перистые над мощными кучево-дождевыми, возможны осадки; «Сb сар.» - мощные кучево-дождевые с покровом перистых, возможны осадки, гроза, град; «Сb inc.» - кучево-дождевые с наковальней, возможны осадки, гроза, град.

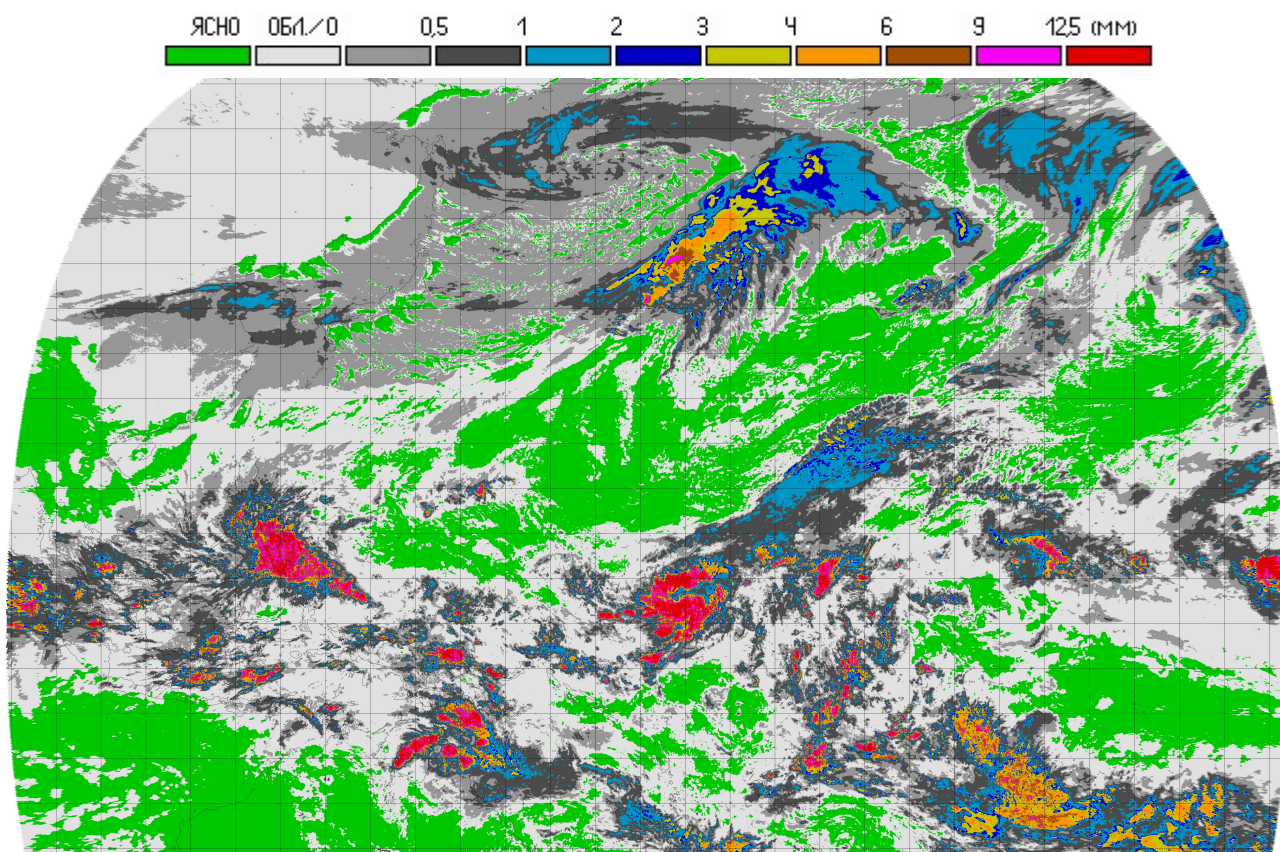


Рис. 3. Количество осадков, выпавших за 15 мин в среднем по площади пиксела (фрагмент полного круга обзора МСУ-ГС КА Электро-Л №4 (165,8° в.д.), АПК «ELEKTPO4ncер», 18 декабря 2023 г., 3:00 UTC, регулярная сетка 0,025°)

Примечание. Классы: «ясно» - преимущественно без облаков; «обл./0» - облачно без осадков.

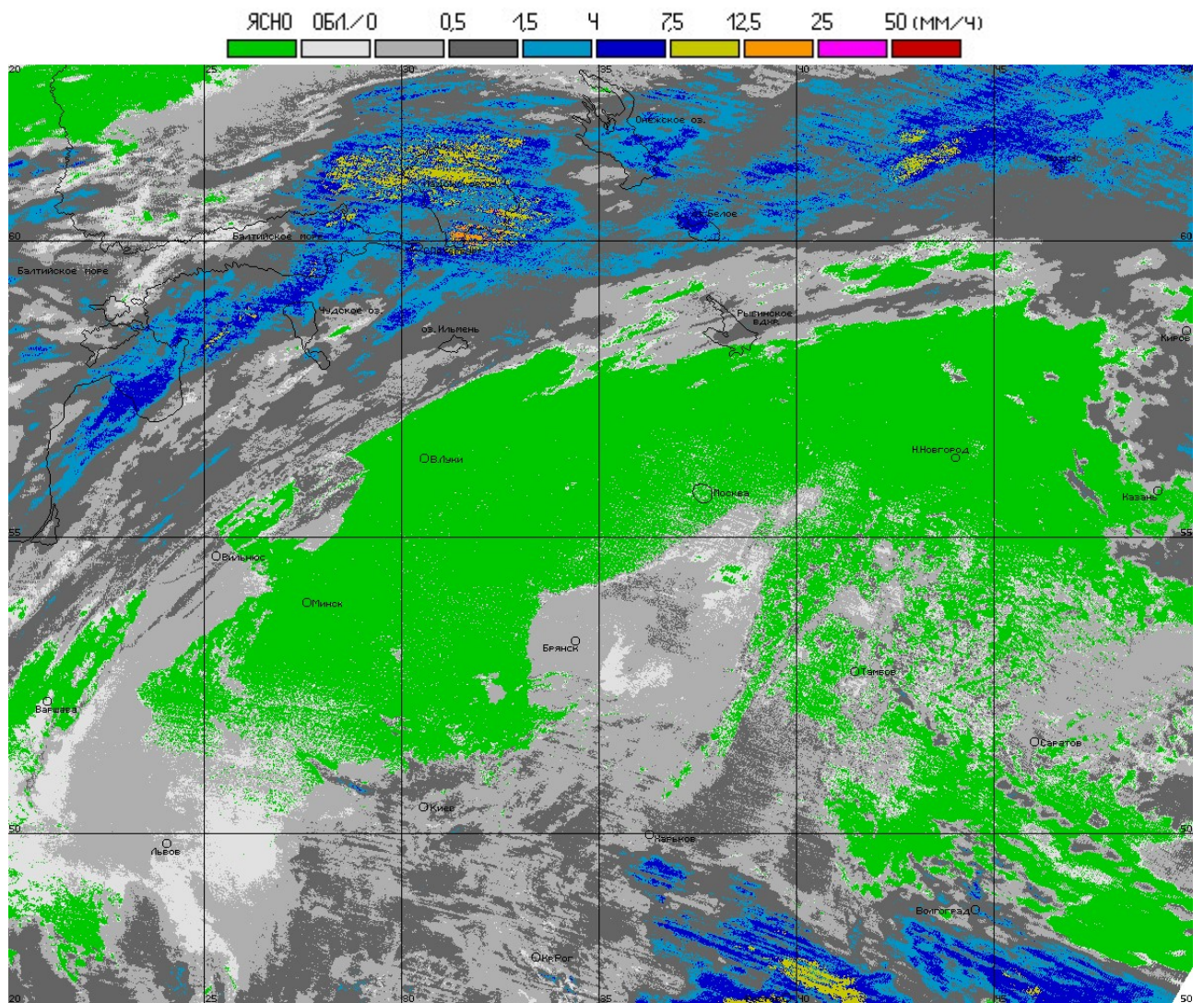


Рис. 4. Средняя по площади пиксела интенсивность осадков (МСУ-МР КА Метеор-М №2-2, 15 марта 2024 г., 1:58 UTC, АПК «MSUMRexeter», регион «Европейская территория России», регулярная сетка 0,025°).

Примечание. Классы: «ясно» - преимущественно без облаков; «обл./0» - облачно без осадков.

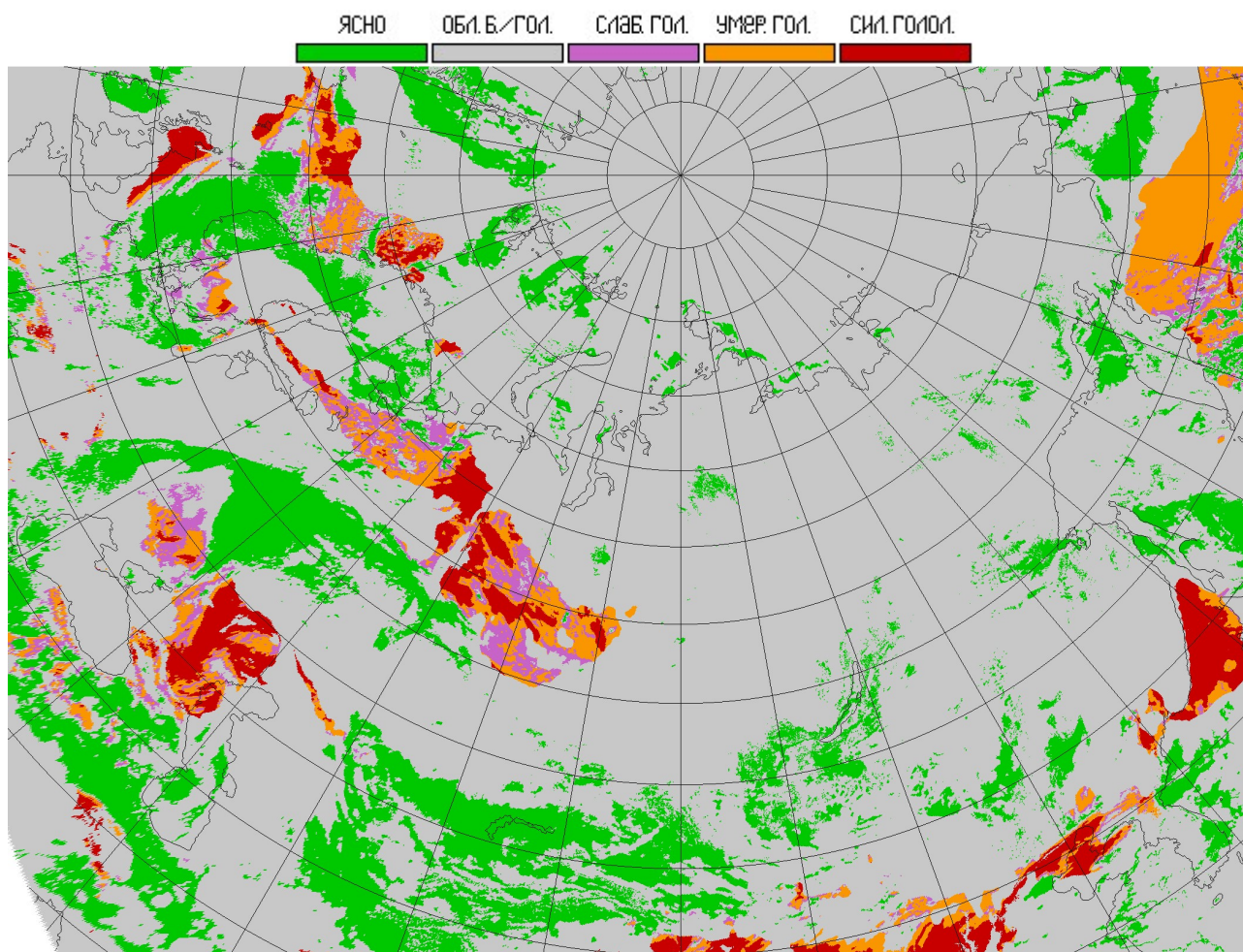


Рис. 5. Гололёдные явления на поверхности земли, связанные с выпадением осадков (фрагмент круга обзора МСУ-ГС-ВЭ КА Арктика-М, АПК «АРКТИКАсер», 16 марта 2024 г., 18:00 UTC, регион «Россия и северный полюс», косая азимутальная стереографическая проекция)

Примечание. Классы: «ясно» - преимущественно без облаков; «обл. б./гол.» - облачно без метеоявлений, вызывающих гололёд (вероятность гололеда 0 %); «слаб.гол.» – слабый гололед (вероятность гололёда >0 %); «умер.гол.» - умеренный гололед (вероятность гололеда не менее 70 %); «сил.голол.» - сильный гололёд (вероятность гололёда ~100 %) в зависимости от интенсивности мокрого снега, снега с дождём, дождя со снегом и замерзающего дождя.

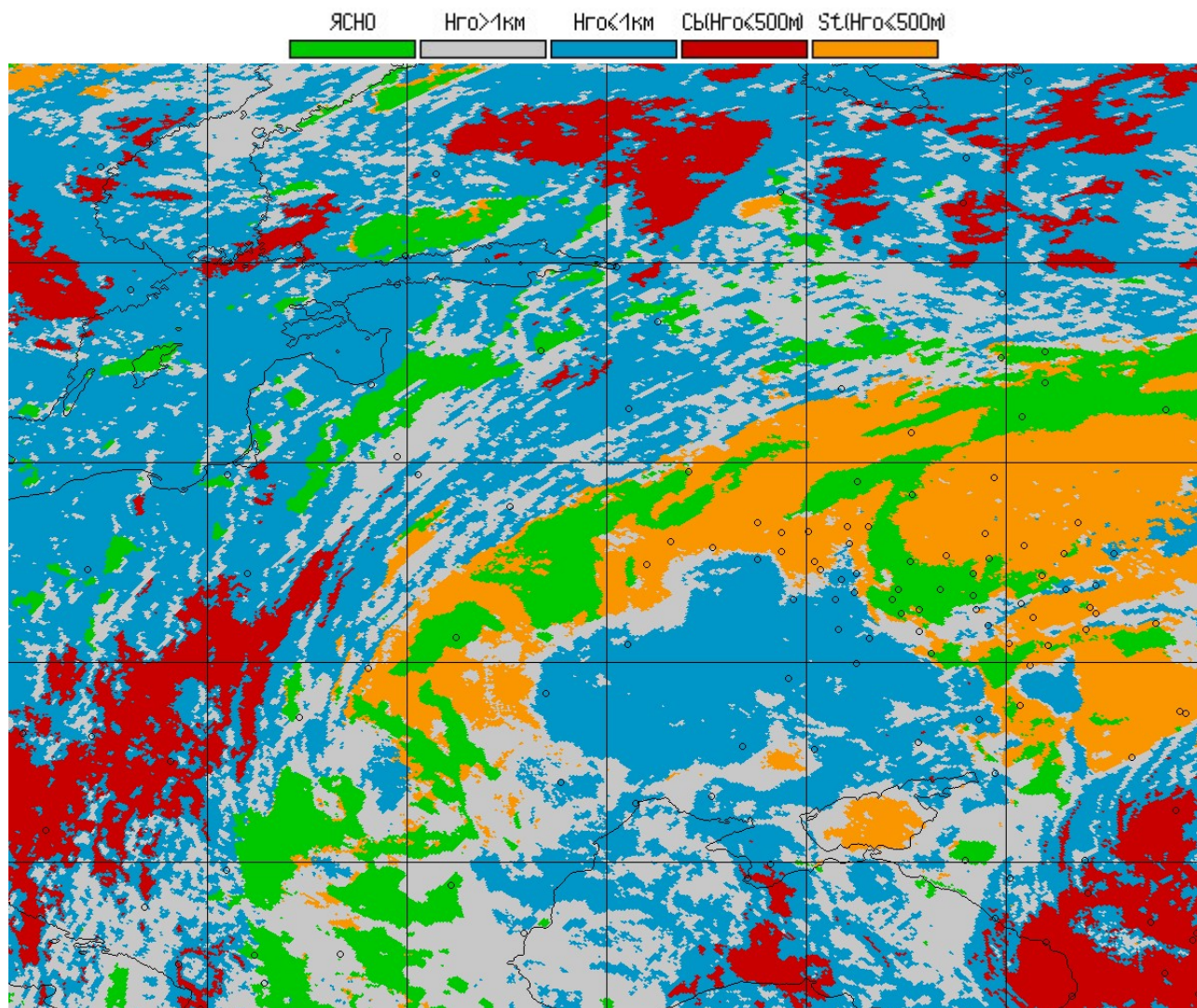


Рис. 6. Низкая облачность (фрагмент круга обзора МСУ-ГС-ВЭ КА Арктика-М, АПК «АРКТИКАперс», 16 марта 2024 г., 6:00 UTC, регион «Европейская территория России», регулярная сетка 0,025°)

Примечание. Классы: «ясно» - преимущественно без облаков; «Hго>1км» - облачно, преимущественно высота НГО более 1 км; «Hго<1км» - облачно, преимущественно высота НГО 0,5-1 км, но может быть и ниже, вероятность низкой облачности менее 50 %; «Сб(Hго<500м)» - преимущественно Сб в любой стадии развития и любой мощности, в т.ч. в составе многослойной, с высотой НГО менее 0,5 км, высокая вероятность осадков; «St(Hго<500м)» - преимущественно St с высотой НГО менее 0,5 км, вероятен туман.

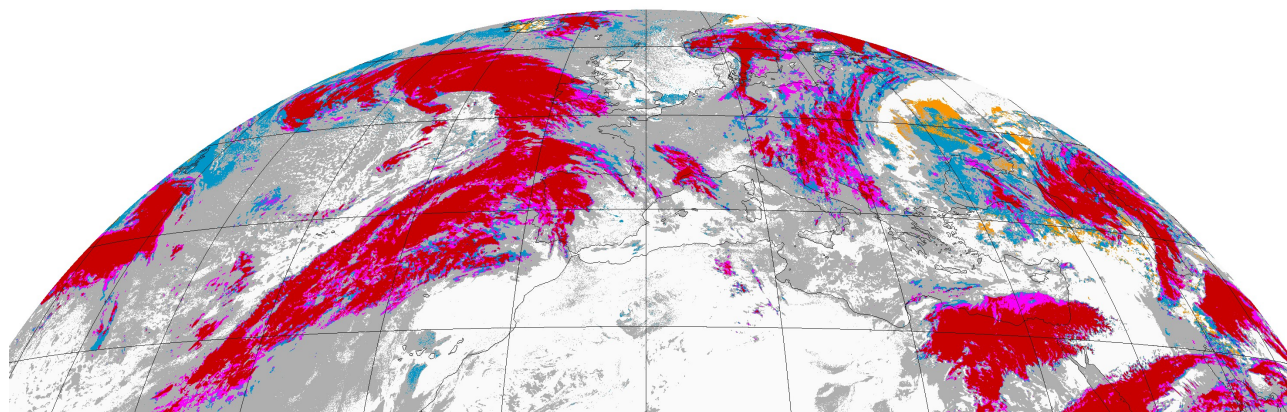


Рис. 7. Вероятность низкой облачности (фрагмент полного круга обзора SEVIRI КА Meteosat-11 (0° в.д.), АПК «SEVIRIncep», 16 марта 2024 г., 6:00 UTC, поперечная азимутальная проекция виртуального спутника)

Примечание. Классы: «ясно» - преимущественно без облаков; «P=0%» - облачно, преимущественно высота НГО более 1 км; «P<50%» - облачно, преимущественно высота НГО 0,5-1 км, вероятность низкой облачности менее 50 %; «P≥50%» - преимущественно низкая облачность, вероятность не менее 50 %; «Cb(P<50%)» - преимущественно Cb в любой стадии развития и любой мощности, в т.ч. в составе многослойной, с высотой НГО более 0,5 км; «Cb(P≥50%)» - преимущественно Cb в любой стадии развития и любой мощности, в т.ч. в составе многослойной, с высотой НГО менее 0,5 км; «St(P<50%)» - преимущественно St с высотой НГО более 0,5 км; «St(P≥50%)» - преимущественно St с высотой НГО менее 0,5 км.

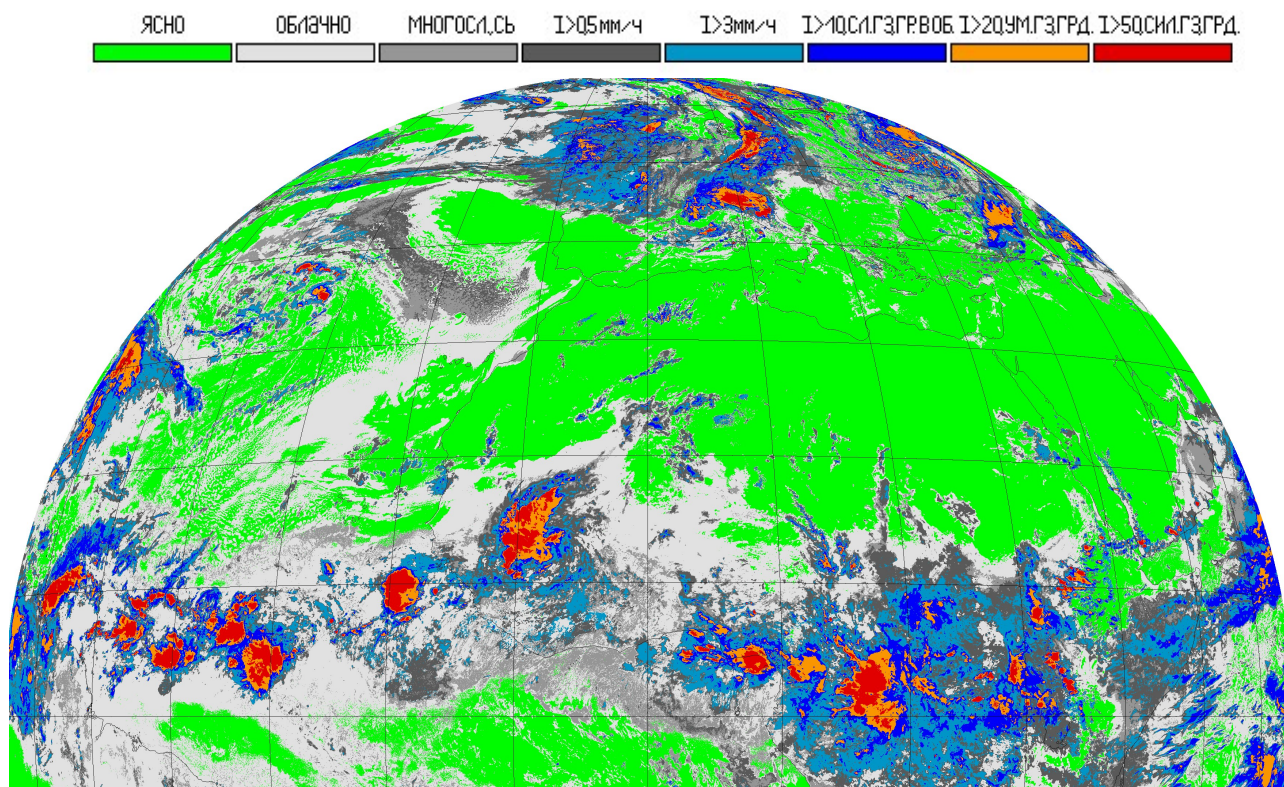


Рис. 8. Внутримассовая и фронтальная облачность с конвективными явлениями (фрагмент полного круга обзора SEVIRI КА Meteosat-9 (45,5° в.д.), АПК «SEVIRIexeter», 30 июня 2024 г., 12:00 UTC, поперечная азимутальная проекция виртуального спутника)

Примечание. Классы: «ясно» - преимущественно без облаков; «облачно» – однослойная, низкая или оптически тонкая облачность (Ci, Cs, As, Ac, Cu, St и их сочетания); «многослойная, Сб» – многослойная облачность и мощные кучево-дождевые без осадков и со слабыми осадками ($I \leq 1$ мм/ч); « $I > 1$ мм/ч» – многослойная облачность и мощные кучево-дождевые с осадками $I > 1$ мм/ч; « $I > 5$ мм/ч» – многослойная облачность и мощные кучево-дождевые с осадками $I > 5$ мм/ч; « $I > 10$ мм/ч, слабая гроза, град в облаках» – многослойная облачность и мощные кучево-дождевые с осадками $I > 10$ мм/ч, слабая гроза, град в облаках; « $I > 25$ мм/ч, умеренная гроза, град у земли» – мощные кучево-дождевые облака с осадками $I > 25$ мм/ч, умеренная гроза, возможен слабый град у земли; « $I > 50$ мм/ч, сильные гроза, град» – мощные кучево-дождевые облака с осадками $I > 50$ мм/ч, сильная гроза, град у земли любой интенсивности.

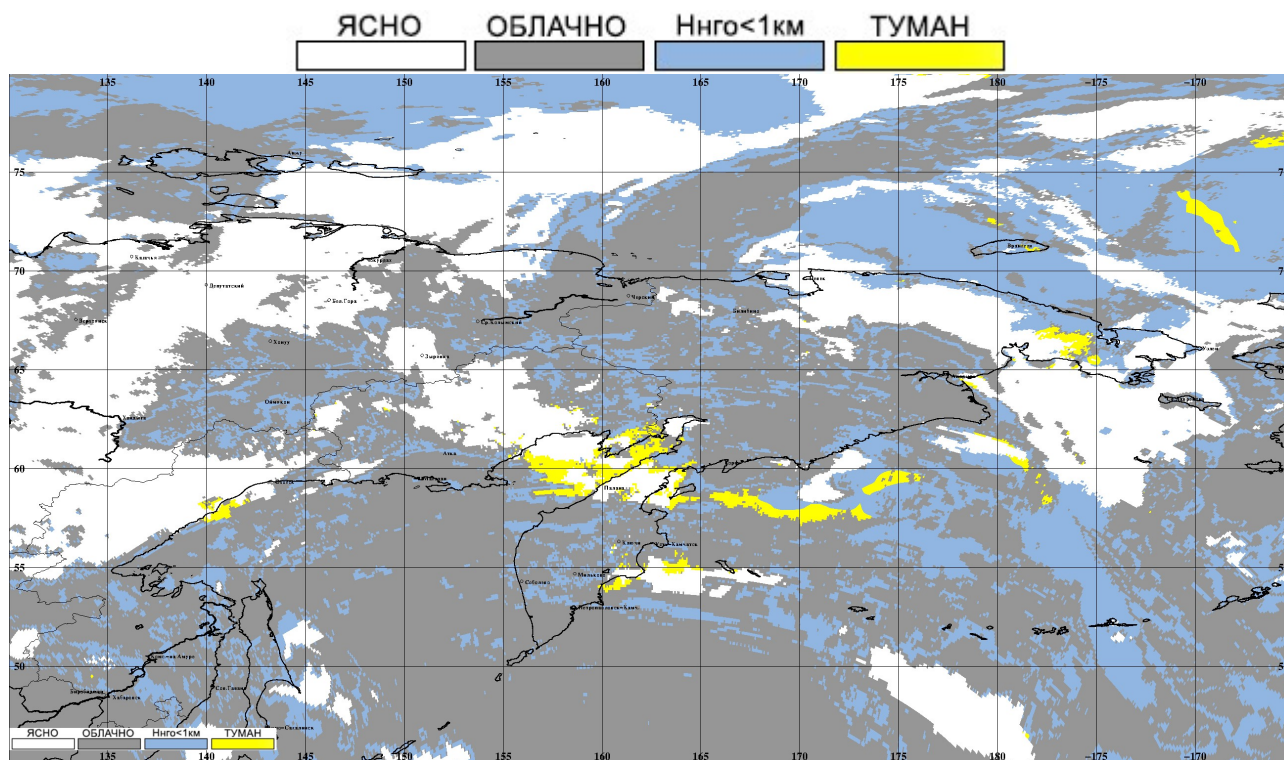


Рис. 9. Туман (фрагмент круга обзора МСУ-ГС-ВЭ КА Арктика-М, АПК «АРКТИКАсер»), 11 июня 2024 г., 00:00 UTC, регулярная сетка 0,025°, регион «Дальний Восток»)

Примечание. Классы: «ясно» - преимущественно без облаков; «облачно» - облачно, высота НГО более 1 км или неслоистые и слоисто-дождевые облака с высотой НГО менее 1 км; «Ннго<1км» - слоистая облачность (кроме слоисто-дождевой) с высотой НГО менее 1 км; «туман» - низкая слоистая облачность (высота НГО менее 1 км) без осадков или с моросью и с высокой приземной влажностью воздуха (высокая вероятность тумана)

Литература

1. Волкова Е.В. Определение микрофизических параметров облачного покрова по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 265-279.
2. Волкова Е.В. Определение параметров облачного покрова, осадков и опасных явлений погоды по данным аппаратуры МСУ-МР с полярно-орбитальных КА серии Метеор-М для западных регионов России // Материалы 20й Международной конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Электронный сборник материалов конференции. ИКИ РАН, Москва, 2022. С. 408. doi 10.21046/20DZZconf-2022a. ISBN 978-5-00015-008-5.
3. Волкова Е.В., Кухарский А.В. Автоматизированная технология диагноза параметров облачного покрова, осадков и опасных явлений погоды для Европейской территории России по данным радиометра SEVIRI с геостационарных метеоспутников серии Meteosat MSG // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2020. № 4 (378). С. 43-62. doi 10.37162/2618-9631-2020-4-43-62.
4. Волкова Е.В., Кухарский А.В. Мониторинг характеристик облачного покрова, осадков и опасных явлений погоды по данным МСУ-ГС-ВЭ КА Арктика-М для территории России и Арктики // Сборник трудов Международного Симпозиума «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД-2023), Санкт-Петербург, 21-24 июня 2023 г., Санкт-Петербург: ООО «Издательство ВВМ», 298 стр., с. 10-14, ISBN 978-5-9651-1353-8.