

Использование спутниковых наблюдений по данным радиометра SEVIRI/Meteosat для климатического мониторинга состояния облачного покрова и осадков

Волкова Е. В.

*ФГБУ «НИЦ «Планета»
123242, Москва, Большой Предтеченский пер., д.7.
E-mail: quantocosa@bk.ru*

Облачный покров играет важную роль в формировании погоды и климата, оказывая существенное влияние на водно-энергетический баланс Земли. Поэтому оперативный мониторинг его состояния является важной задачей. Наземная сеть метеорологических наблюдений неравномерно распределена по поверхности земного шара и для многих территорий спутниковые данные являются единственным источником информации об облачности и осадках. «Срочные» (для каждого сеанса/срока) спутниковые наблюдения важны для анализа и прогноза погоды. Для климатического мониторинга полезна информация, осреднённая или накопленная за некоторый период времени.

В ФГБУ «НИЦ «Планета» разработан автоматизированный программный комплекс (АПК) «SEVIRInсер» [4, 5], предназначенный для получения в оперативном режиме информации о параметрах облачного покрова, осадках и опасных явлениях погоды для полного круга обзора или его фрагмента с исходным разрешением или на регулярной сетке радиометра SEVIRI с КА серии Meteosat и прогностической модели NCEP GFS для отдельных сроков спутниковых наблюдений, а также позволяющий рассчитывать «климатические» оценки макро- и микрофизических характеристик облачного покрова и осадков: средние или накопленные за календарные сутки, месяц и год: суммы осадков и средние за период времени для площади пиксела значения максимальной водности и водозапаса облачного слоя, интенсивности осадков (только для периода времени с осадками), температуры на верхней границе облачности (ВГО), высоты ВГО барической и над уровнем моря, высоты над поверхностью земли нижней границы облачности (НГО), толщины (разность между ВГО и НГО, включая безоблачные прослойки) и реальной толщины (без безоблачных прослоек) облачного слоя, оптических плотности (COD – Cloud Optical Depth) и толщины (COT – Cloud Optical Thickness) облачного слоя, эффективного радиуса облачных частиц, высоты над уровнем моря нижней и верхней границ слоя слабого, умеренного и сильного обледенения и параметра CFC (Cloud Fraction Cover – среднее за период времени значение вероятности покрытия пиксела облачностью). Выходные «климатические» продукты АПК получают в виде числовых матриц точных значений для каждого пиксела полного круга обзора спутникового прибора ($\text{viz} \leq 7,7^\circ$) в двух проекциях: поперечной азимутальной виртуального спутника (размеры выходной матрицы 3600x3600 пикселей) и нормальной цилиндрической равнопромежуточной (размеры выходной матрицы 5520x5520 пикселей с шагом 1,5' (0,025°) между центрами пикселей), а также соответствующих им растровых карт (rsx-файлов). Визуальный анализ карт суточных, месячных и годовых значений параметров облачного покрова и осадков для полного круга обзора прибора SEVIRI, в т.ч. в режиме слайд-шоу, позволяет отслеживать изменения значений характеристик облачного покрова на протяжении

больших промежутков времени для обширных территорий и оценивать изменения климата.

По результатам расчёта месячного и годового «климата» за 2021-2022 гг. были построены графики зонально-осреднённого хода значений годового «климата» для полного круга обзора («субглобально») и рассчитаны средние для площади территорий значения отдельно для полного круга обзора, для северного и южного полушарий в его пределах, Европейской части территории России (ЕТР) и узких зональных поясов, а также построены графики годового хода месячных значений отдельно для полного круга обзора и ЕТР. Для расчётов использовалась информация радиометра SEVIRI/Meteosat-11 (точка стояния 0° в.д.) за 2021-2022 гг. и SEVIRI/Meteosat-8 (41,5° в.д.) за 2022 г. При валидации качества спутниковой «климатической» информации использовались аналогичные климатические оценки для тех же территорий, результаты наземных измерений сумм осадков на метеостанциях, а также значения CFC и сумм осадков, полученные по данным радиометров SEVIRI/Meteosat-11 и SEVIRI/Meteosat-8 и прогностической модели Exeter (АПК «SEVIRIexeter») [1, 3]. Анализ полученной информации показал следующее.

1) **Покрывание облачностью пиксела (CFC).** Спутниковые оценки АПК «SEVIRIncep» заметно завышают годовые значения CFC для большей части круга обзора прибора SEVIRI. Так, по климатическим оценкам разных авторов за разные промежутки времени глобальные годовые значения CFC составляют преимущественно от 55 до 75 % (в среднем ~65 %) [6].

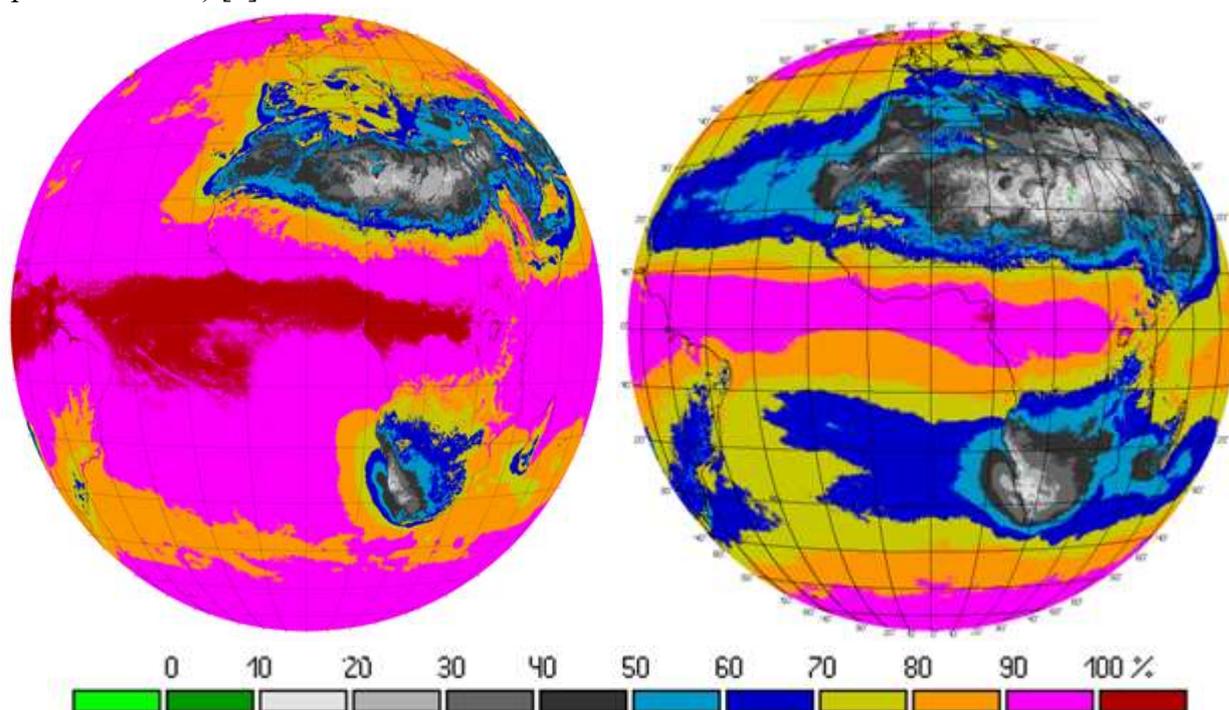


Рис. 1. Средние за год (2021 г.) значения CFC (%), выходящий продукт АПК: слева – «SEVIRIncep», справа – «SEVIRIexeter» (SEVIRI/Meteosat-11)

По данным же АПК «SEVIRIncep» для разных КА Meteosat и субглобальной территории (площадь круга обзора прибора SEVIRI занимает около 1/3 площади земного шара) значения CFC колеблются для 2х лет около 85 %. Максимум годовых значений CFC приходится на пояс от 5° с.ш. до 5° ю.ш. (CFC=98-99 %), а также растёт в высоких широтах обоих полушарий: к северу и югу от ±50° ш. Два минимума CFC приурочены к

поясам 20-40° ю.ш. (CFC=80-85 %) и 20-30° с.ш. (CFC<65 %). При сравнении выходных продуктов АПК «SEVIRInсер» с аналогичными оценками АПК «SEVIRIexeter» [1] видно, что наиболее сильно переоценивается облачность для районов с её относительно небольшим количеством: для южного минимума – на ~30 %, для северного минимума – на ~40-50 %, для ЕТР – на ~20 %, для зональных максимумов – на 5-10 %. Для месячных значений CFC и полного круга обзора максимум приходится на август-сентябрь (при этом минимумы практически не выражены), а для ЕТР – на июль-август и декабрь-январь (хорошо выраженные минимумы отмечаются в марте-апреле и октябре). По оценкам АПК «SEVIRIexeter» для ЕТР на протяжении нескольких лет отмечался хорошо выраженный летний минимум (45-55 %) и зимний максимум (до 70-80 %) CFC. При сравнении срочных карт обоих АПК видно, что АПК «SEVIRInсер» в летнее время над Европой и над океанами заметно больше детектирует перистообразной и высокослоистой облачности, чем АПК «SEVIRIexeter». Однако для сухих регионов Африки (на севере и юге) и Ближнего Востока оценки CFC обоими АПК получаются достаточно близкими в течение всего года (см. рис. 1);

2) **Температура ВГО (Твго).** Средняя субглобальная годовая Твго≈250 К и практически одинакова для северного и южного полушарий (для ЕТР на 1-2 К меньше) для разных КА и лет. В среднем за год самая холодная облачность (Твго≈242 К) встречается в районе экватора (±5-10° ш.) – очень мощные Сб в течение всего года. В высоких широтах обоих полушарий годовая Твго=245-250 К (в южном полушарии ВГО немного холоднее, чем в северном). Максимумы Твго приходятся на зоны ± 20-30° ш. (~255 К и более). Годовой ход субглобальных месячных значений Твго практически не выражен, а для ЕТР отмечается летний максимум (Твго≈250 К и выше) и зимний минимум (Твго≈245 К и ниже). В целом, для высоких широт обоих полушарий минимум месячных значений Твго приходится на холодный период года, а максимум – на лето. При анализе карт месячных значений Твго хорошо прослеживается динамика их изменения;

3) **Барическая высота ВГО (рНвго).** Средняя субглобальная годовая рНвго≈440-445 гПа и практически одинакова для северного и южного полушарий (для ЕТР рНвго≈545-560 гПа) для разных КА и лет. В среднем за год минимум (рНвго<350 гПа) отмечается в районе экватора (±5-10° ш.) и растёт к полюсам (в высоких широтах северного полушария рНвго=550-600 гПа, южного полушария – рНвго>600 гПа). Годовой ход субглобальных месячных значений рНвго для разных КА немного различается (сильнее, чем для разных лет одного КА), а для ЕТР отмечается летний минимум (рНвго≈400-450 гПа) и зимний максимум (рНвго≈600-650 гПа и более) независимо от года и КА. При анализе карт месячных значений рНвго хорошо прослеживается динамика их изменения;

4) **Высота ВГО над уровнем моря (Нвго).** Средняя субглобальная годовая Нвго≈7 км: для северного полушария на ~0,5 км больше, чем для южного (для ЕТР Нвго≈5 км) для разных КА и лет. В среднем за год максимум (Нвго≈9 км) отмечается в районе экватора (±5-10° ш.) и уменьшается к полюсам (в высоких широтах северного полушария Нвго≈4-5 км, южного полушария – Нвго≈3,5-4 км) (см. рис. 2). Годовой ход субглобальных месячных значений Нвго для разных КА немного различается (сильнее, чем для разных лет одного КА): для круга обзора прибора SEVIRI/Meteosat-8 максимум более выражен (с апреля по август), чем для SEVIRI/Meteosat-11, а для ЕТР отмечается хорошо выраженный практически одинаковый летний максимум (Нвго≈7-7,5 км) и зимний минимум (Нвго≈3-4 км) независимо от года и КА. В умеренных и высоких

широтах южного полушария в течение всего года среднемесячная $H_{вг0} \leq 4-5$ км. При анализе карт месячных значений $H_{вг0}$ хорошо прослеживается динамика их изменения;

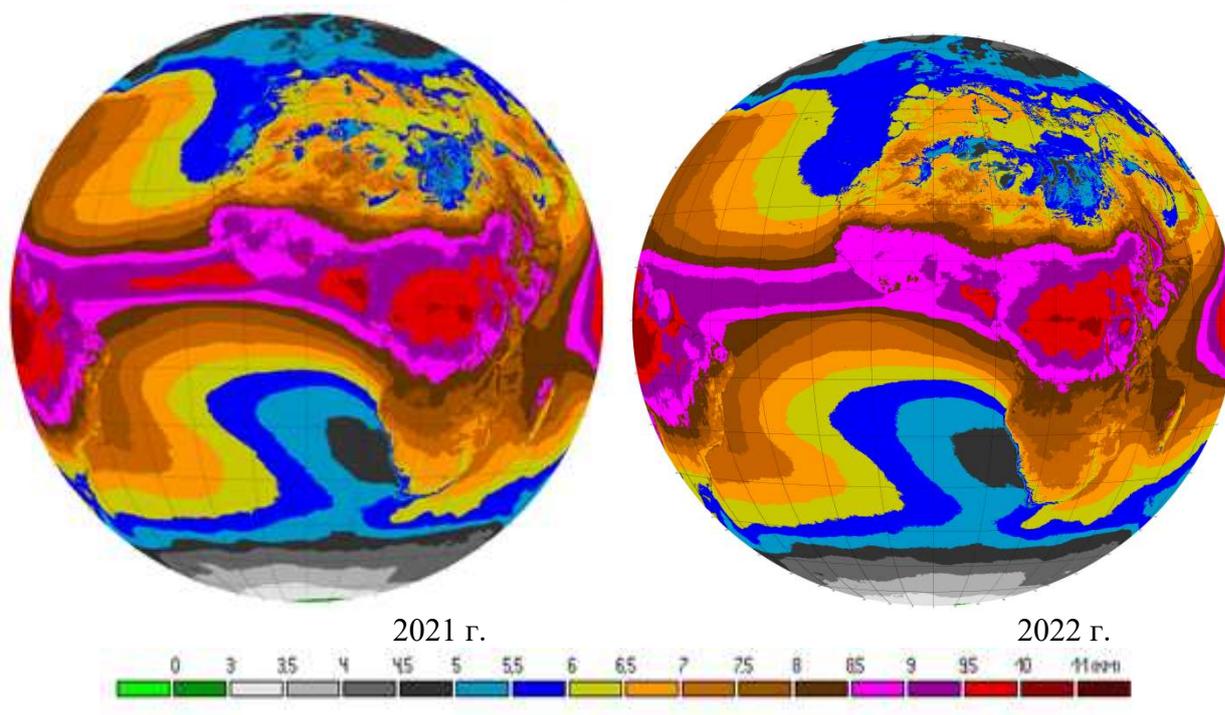


Рис. 2. Средняя за год высота ВГО (км) (АПК «SEVIRIncep», SEVIRI/Meteosat-11)

5) **Высота НГО (Ннго).** Средняя субглобальная годовая $N_{нго} \approx 2,6-2,7$ км и практически одинакова для северного и южного полушарий для разных КА и лет, а для ЕТР $N_{нго} < 2$ км и зависит от года и КА. В среднем за год максимум ($N_{нго} \approx 2,5-3,5$ км) отмечается для пояса $\pm 30-40^\circ$ ш. и уменьшается к полюсам (в высоких широтах северного полушария $N_{нго} \approx 1-1,5$ км, южного полушария – $N_{нго} \approx 0,5-1$ км). Годовой ход субглобальных месячных значений $N_{нго}$ для разных КА различается сильнее, чем для разных лет одного КА (максимум с мая по сентябрь). Для ЕТР хорошо выражены летний максимум ($N_{нго} \approx 3-3,5$ км) и зимний минимум ($N_{нго} \approx 1$ км и менее) независимо от года и КА. При анализе карт месячных значений $N_{нго}$ хорошо прослеживается динамика их изменения;

6) **Толщина облачного слоя (dH), включая безоблачные прослойки.** Средняя субглобальная годовая $dH \approx 4$ км: для северного полушария на $\sim 0,5$ км больше, чем для южного (для ЕТР $dH \approx 3$ км) для КА и лет. В среднем за год основной максимум ($dH \approx 5,5$ км) приходится на район экватора ($\pm 5-10^\circ$ ш.) (очень мощные Сb в течение всего года) и 2 максимума поменьше ($dH \approx 3,5$ км) в районе $\pm 40-50^\circ$ ш., и 4 минимума – в районе $\pm 20-35^\circ$ ш. и в высоких широтах – $dH < 3$ км. Годовой ход субглобальных месячных значений dH для разных КА существенно различается (намного сильнее, чем для разных лет одного КА): минимумы и максимумы для разных КА идут практически в противофазе. Для ЕТР отмечается летний максимум ($dH \approx 3,5-4$ км) и зимний минимум ($dH \approx 2,5-3$ км) независимо от года и КА. В умеренных и высоких широтах южного полушария в течение всего года среднемесячная $dH \leq 3,5$ км. При анализе карт месячных значений dH хорошо прослеживается динамика их изменения (максимум dH следует за солнцем);

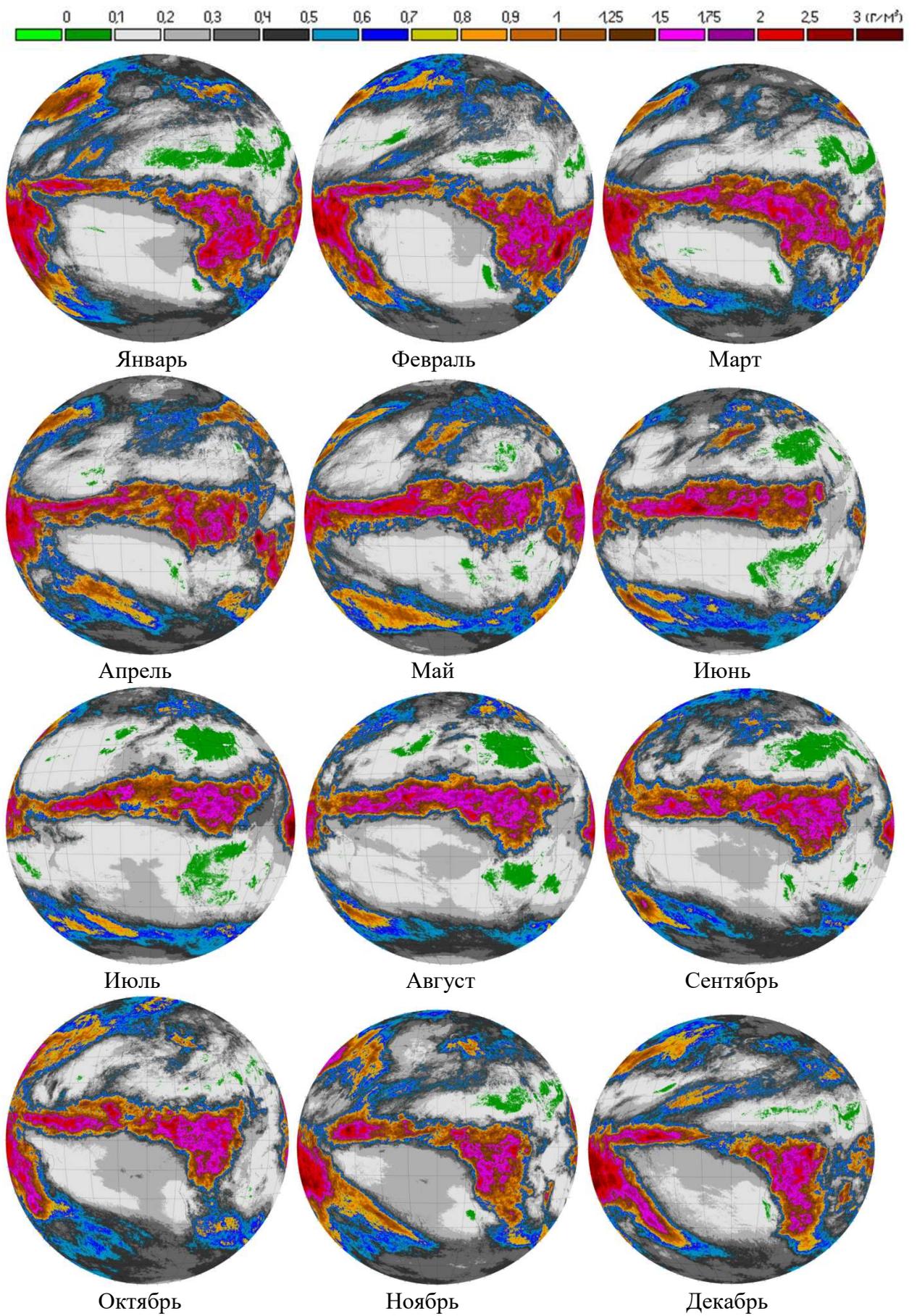


Рис. 3. Средняя за месяц максимальная водность облачного слоя ($г/м^3$) (2021 г., АПК «SEVIRIncep», SEVIRI/Meteosat-11)

7) **Реальная толщина облачного слоя (dHcl) без безоблачных прослоек.**

Средняя субглобальная годовая dHcl \approx 2,2 км: для северного полушария на \sim 0,2 км больше, чем для южного (для ЕТР годовые значения dHcl близки к субглобальным) для разных КА и лет. В среднем за год основной максимум (dHcl \approx 3-3,5 км) приходится на район экватора ($\pm 10^\circ$ ш.) (очень мощные Сб в течение всего года) и 2 максимума поменьше (dHcl \approx 2-2,5 км) в районе ± 40 - 50° ш. (активная фронтальная деятельность), а 2 минимума в районе ± 20 - 35° ш. – dHcl \approx 1,5-2 км (преобладают относительно небольшие кучевообразные облака и перистообразная облачность). Годовой ход субглобальных месячных значений dHcl для разных КА существенно различается (намного сильнее, чем для разных лет одного КА): минимумы и максимумы для разных КА идут практически в противофазе. Для ЕТР сезонность значений dHcl практически не выражена: максимумы и минимумы для разных лет и КА приходятся на разные месяцы. При анализе карт месячных значений dHcl хорошо прослеживается динамика их изменения: хорошо видно, что наибольшие значения dHcl связаны с фронтальной деятельностью и мощными Сб;

8) **Максимальная водность облачного слоя (Wmax).** Средняя субглобальная годовая Wmax \approx 0,55 г/м³: для северного полушария на \sim 0,05 г/м³ больше, чем для южного (для ЕТР Wmax \approx 0,4-0,45 г/м³) для разных КА и лет. В среднем за год основной максимум (Wmax $>$ 0,9 г/м³) приходится на район экватора ($\pm 10^\circ$ ш.) (очень мощные Сб в течение всего года) и 2 максимума поменьше (Wmax \approx 0,5 г/м³) в районе ± 40 - 50° ш., а 4 минимума – в районе ± 20 - 35° ш. и в высоких широтах – Wmax $<$ 0,4 г/м³. Годовой ход субглобальных месячных значений Wmax для разных КА существенно различается (намного сильнее, чем для разных лет одного КА): минимумы и максимумы для разных КА идут практически в противофазе. Для ЕТР отмечается летний максимум (Wmax \approx 0,5 и более г/м³) и зимний минимум (преимущественно Wmax \leq 0,4 г/м³) независимо от года и КА. В умеренных и высоких широтах южного полушария в течение всего года среднемесячная Wmax \leq 0,5 г/м³. При анализе карт месячных значений Wmax хорошо прослеживается динамика их изменения (максимум Wmax следует за солнцем) (см. рис. 3);

9) **Водозапас облачного слоя (SW).** Средний субглобальный годовая SW \approx 2 кг/м²: для северного полушария на \sim 0,3 кг/м² больше, чем для южного (для ЕТР SW \approx 1-1,2 кг/м²) для разных КА и лет. В среднем за год основной максимум (SW \approx 4-4,5 кг/м²) приходится на район экватора ($\pm 10^\circ$ ш.) (очень мощные Сб в течение всего года) и 2 максимума поменьше (SW \approx 1,5 кг/м²) в районе ± 40 - 50° ш., а 4 минимума – в районе ± 20 - 35° ш. и в высоких широтах – SW $<$ 1 кг/м². Годовой ход субглобальных месячных значений SW для разных КА существенно различается (намного сильнее, чем для разных лет одного КА): минимумы и максимумы для разных КА идут практически в противофазе. Для ЕТР отмечается летний (апрель-сентябрь) максимум (SW $>$ 1 кг/м²) и зимний минимум (SW $<$ 1 кг/м²) независимо от года и КА. В умеренных и высоких широтах южного полушария в течение всего года среднемесячный SW \leq 1 кг/м². При анализе карт месячных значений SW хорошо прослеживается динамика их изменения (максимум SW следует за солнцем);

10) **Оптическая плотность облачного слоя (COD).** Средняя субглобальная годовая COD \approx 19-19,5% и практически одинакова для северного и южного полушария (для ЕТР COD \approx 21-22,5 %) для разных КА и лет. Отмечаются 3 практически одинаковых максимума COD \approx 25 %: в районе экватора ($\pm 10^\circ$ ш.) (очень мощные Сб в течение всего года) и к северу и югу от $\pm 40^\circ$ ш., а также 2 минимума – в районе ± 20 - 35° ш. COD \approx 15 %. Годовой ход субглобальных месячных значений COD для разных КА существенно

различается (намного сильнее, чем для разных лет одного КА): минимумы и максимумы для разных КА идут практически в противофазе. Для ЕТР максимумы и минимумы COD выражены слабо и зависят от года и КА. В умеренных и высоких широтах обоих полушарий в течение всего года среднемесячные значения $COD \approx 20-30\%$, в районе экватора – $COD \geq 25\%$, а в зонах сухих тропиков – $COD < 15\%$. При анализе карт месячных значений COD хорошо прослеживается динамика их изменения (максимум COD следует за солнцем);

11) **Оптическая толщина облачного слоя (COT).** Средняя субглобальная годовая $COT \approx 35-40$: для северного полушария на ~ 3 больше, чем для южного (для ЕТР COT практически совпадает с субглобальными оценками – чуть ниже их) для разных КА и лет. В среднем за год основной максимум ($COT \approx 60-65$) приходится на район экватора ($\pm 10^\circ$ ш.) (очень мощные C_b в течение всего года) и 2 максимума поменьше ($COT \approx 35-45$) в районе $\pm 40-50^\circ$ ш., 2 минимума – в районе $\pm 20-35^\circ$ ш. ($COT \approx 20-30$) и в высоких широтах некоторое уменьшение COT по сравнению с второстепенными максимумами (см. рис.4). Годовой ход субглобальных месячных значений COT для разных КА существенно различается (намного сильнее, чем для разных лет одного КА): минимумы и максимумы для разных КА идут практически в противофазе. Для ЕТР максимумы и минимумы COT выражены слабо и зависят от года и КА. В умеренных и высоких широтах обоих полушарий в течение всего года среднемесячная $COT \geq 25$, в районе экватора – $COT > 40$ (преимущественно больше 75), а в зонах сухих тропиков – $COT < 15$. При анализе карт месячных значений COT хорошо прослеживается динамика их изменения (максимум COT следует за солнцем);

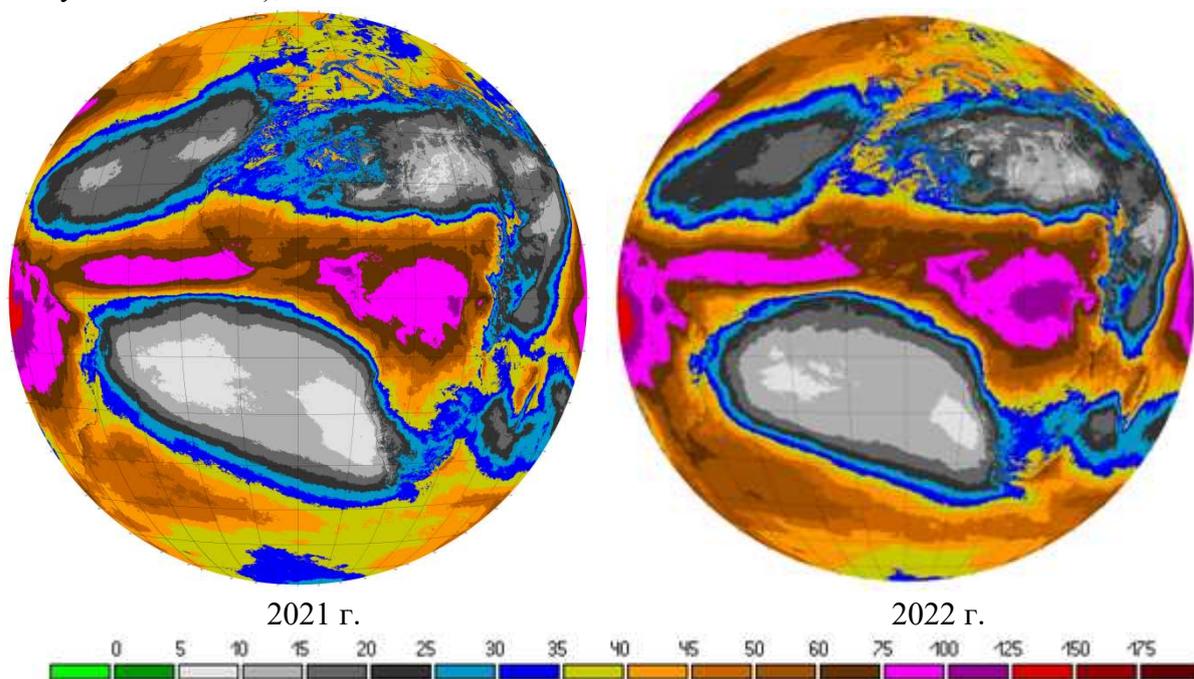


Рис. 4. Средняя за год оптическая толщина облачного слоя (мкм) (АПК «SEVIRInсер», SEVIRI/Meteosat-11)

12) **Эффективный радиус облачных частиц (Rэф).** Средний субглобальный годовой $R_{эф} \approx 18-19$ мкм для 2021 г. независимо от КА и 11 мкм для 2022 г. (в 2021 и 2022 г. использовались разные методики для оценки $R_{эф}$): для северного полушария на $\sim 1-1,5$ мкм меньше, чем для южного (для ЕТР $R_{эф}$ практически совпадает с оценками для

северного полушария в 2021 г. независимо от КА и на 2 мкм выше их в 2022 г.). В 2021 г. независимо от КА в среднем за год максимум ($R_{эф} \approx 22-23$ мкм) приходится на район экватора ($\pm 10^\circ$ ш.) (очень мощные Сб в течение всего года), 2 минимума – в районе $\pm 20-35^\circ$ ш. ($R_{эф} \approx 12-14$ мкм северный и $17-18$ мкм южный) и в высоких широтах некоторое увеличение $R_{эф}$ до $18-20$ мкм. В 2022 г. максимумы в районе экватора и в высоких широтах были примерно одинаковы ($R_{эф} \approx 15$ мкм), как и 2 минимума в сухих тропиках ($R_{эф} \approx 8-9$ мкм). Годовой ход субглобальных месячных значений $R_{эф}$ для разных КА и лет практически не выражен. Для ЕТР в 2021 г. для обоих КА максимум $R_{эф}$ отмечался летом, а минимумы – весной и осенью, а в 2022 г. годовой минимум был летом и в марте. При анализе карт месячных значений $R_{эф}$ хорошо прослеживается некоторая динамика их изменения. Полученные выводы в данной работе вполне совпадают с выкладками, полученными разными авторами и приведёнными в работе [3]: например, $R_{эф}$ в южном полушарии больше, чем в северном, $R_{эф}$ в высоких широтах растёт в холодный период года из-за увеличения лёдности ВГО, а также больше для облаков с осадками, чем без осадков и т.п. Второй вариант расчёта $R_{эф}$ (2022 г.) показал более хорошие результаты, чем первый вариант (2021 г.), который заметно переоценивает $R_{эф}$ (см. рис. 5);

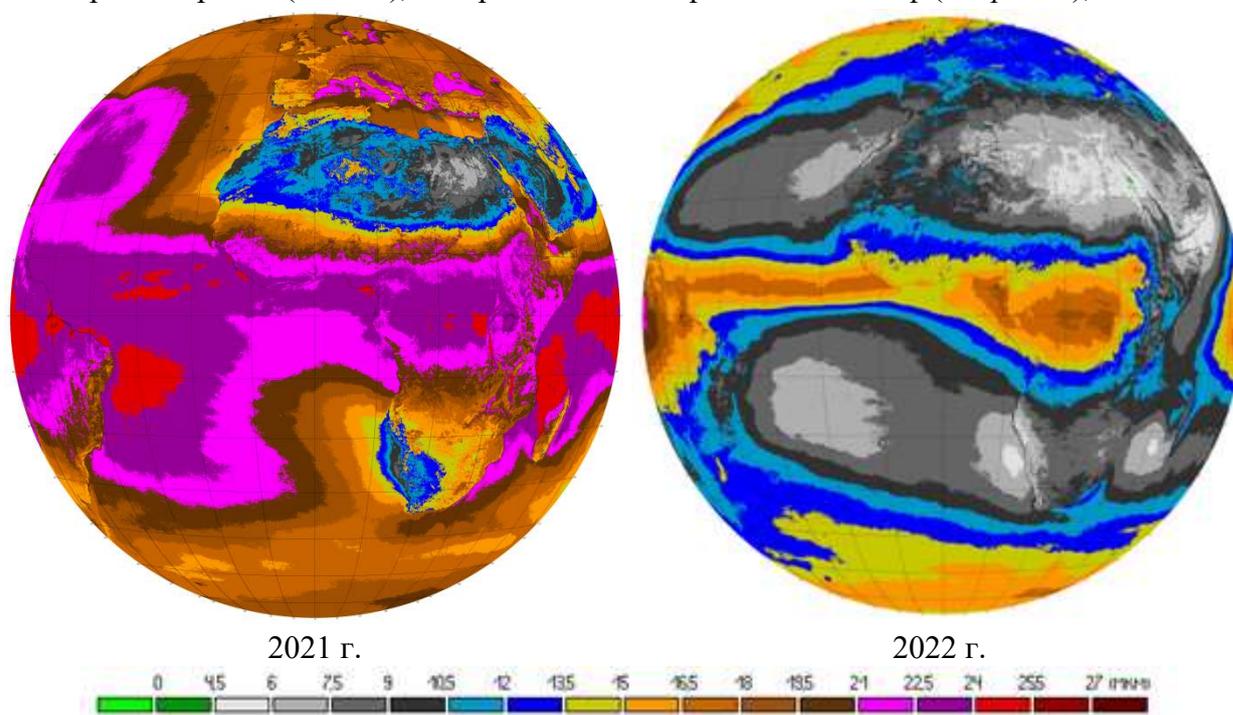


Рис. 5. Средний за год эффективных радиус облачных частиц (мкм) (АПК «SEVIRInсер», SEVIRI/Meteosat-11)

13) Высота верхней и нижней границ слоя значимого (умеренного/сильного) обледенения (Нвг, Ннг). Средние субглобальные годовые $N_{нг} \approx 4,25$ км, $N_{вг} \approx 6,5$ км: для северного полушария на $\sim 0,5-0,7$ км больше, чем для южного (для $N_{нг} \approx 2,5$ км, $N_{вг} \approx 4,5$ км) для разных КА и лет. Основной максимум ($N_{нг} \approx 4-5,5$ км, $N_{вг} \approx 6-7,5$ км) приходится на $\pm 40^\circ$ ш. и в высоких широтах уменьшаются $N_{нг}$ до $0,5-2$ км, $N_{вг}$ до $2,5-4$ км. Годовой ход субглобальных месячных значений $N_{нг}$ и $N_{вг}$ для разных КА и лет достаточно похож: с апреля по октябрь отмечается некоторое повышение значений $N_{нг}$ до 4 и более км, $N_{вг}$ до $6,5$ и более км, а для ЕТР хорошо выражены максимум в тёплый период года ($N_{нг} \approx 3-4,5$ км, $N_{вг} \approx 5-6,5$ км) и минимум в холодный ($N_{нг} \approx 1-1,5$ км, $N_{вг} \approx 2-3,5$ км). При анализе карт

месячных и годовых значений Ннг и Нвг хорошо прослеживается динамика их изменения, а также видно, что над более тёплой сушей (по сравнению с водой) значения Ннг и Нвг увеличиваются;

14) **Интенсивность осадков (I) (только для случаев с осадками).** Средняя субглобальная годовая $I \approx 4,5$ мм/ч: для северного полушария на $\sim 1,2$ мм/ч больше, чем для южного (для ЕТР $I \approx 3,5$ мм/ч) для разных КА и лет. В среднем за год максимум ($I \approx 7,5-8$ мм/ч) приходится на район экватора ($\pm 10^\circ$ ш.) (сильные ливни из очень мощных Сб в течение всего года) и отмечается резкое снижение I в направлении полюсов: к северу и югу от $\pm 30^\circ$ ш. $I \approx 2-4$ мм/ч. В годовом ходе субглобальных средних за месяц значений I максимум приходится на апрель-май ($I \approx 5-6$ мм/ч), а минимум – на июль ($I \approx 3,5-4$ мм/ч) независимо от КА и года. Для ЕТР летний максимум ($I \approx 5-6$ мм/ч) хорошо выражен, а в холодное время года значения I снижаются до $\sim 2-3$ мм/ч (слабо зависят от года и КА) (см. рис. 6). При анализе карт месячных значений I хорошо видно, что в умеренных и высоких широтах обоих полушарий максимум значений I всегда связан с тёплым периодом года, а минимум – с холодным. В районе экватора максимум I следуем за солнцем. Пример суточного «климата» см. на рис. 7;

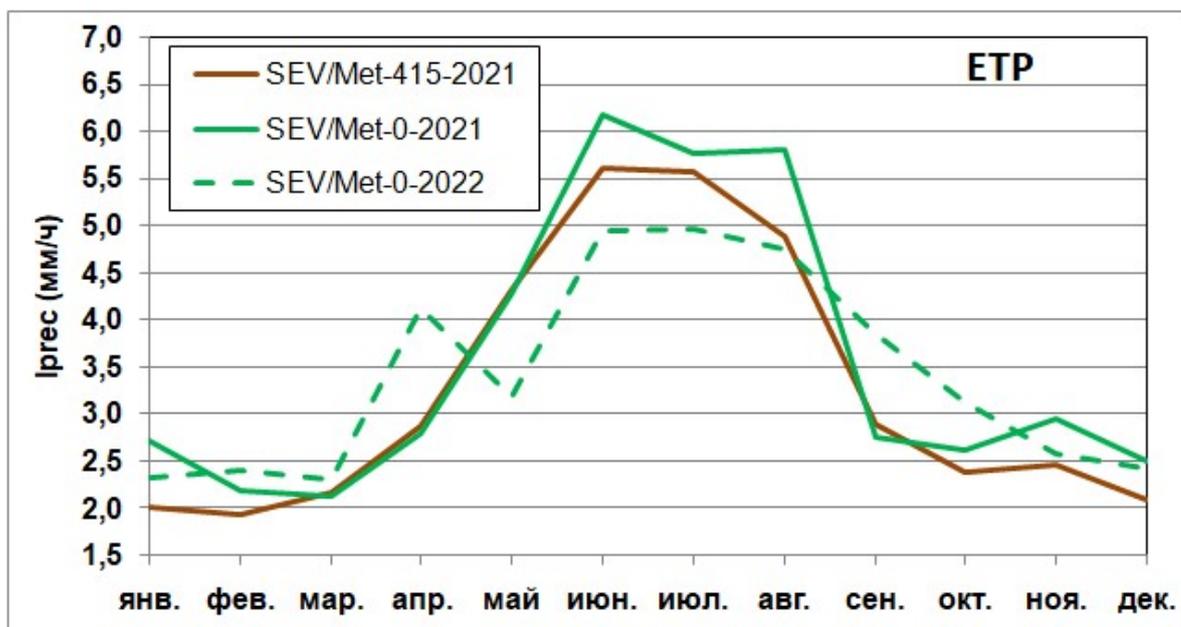


Рис. 6. Годовой ход средней за месяц интенсивности осадков (только для случаев с осадками) для территории ЕТР (АПК «SEVIRIncep», SEVIRI/Meteosat-11 (0° в.д.) и SEVIRI/Meteosat-8 ($41,5^\circ$ в.д.))

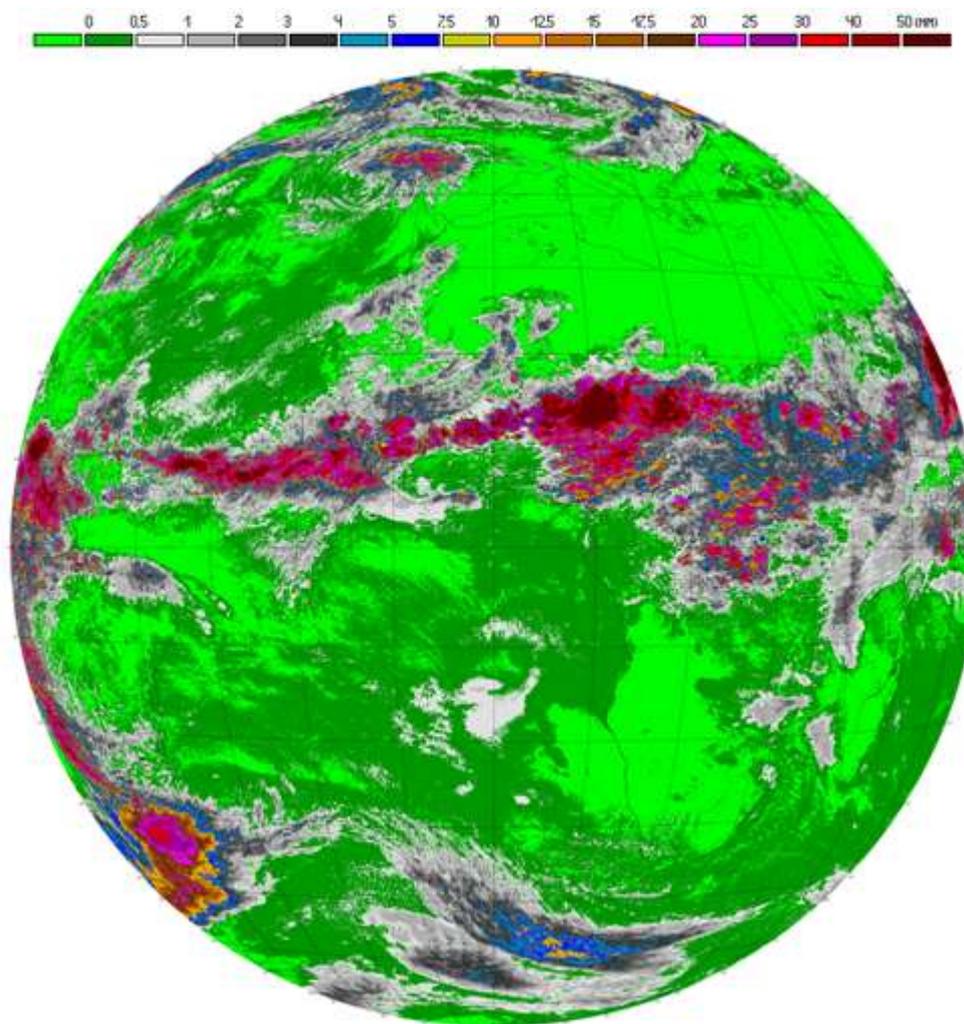


Рис. 7. Средняя за сутки интенсивность осадков (мм/ч) только для случаев с осадками (15 июля 2022 г., АПК «SEVIRIncep», SEVIRI/Meteosat-11)

15) **Суммы осадков (ΣI).** В течение года в среднем по площади круга обзора обоих приборов SEVIRI/Meteosat выпадает ~ 900 мм (в северном полушарии немного больше, чем в южном, а для Meteosat-8 немного больше, чем для Meteosat-11, т.к. захватывает более влажные регионы Индийского океана и юго-восточной Азии), независимо от года и КА, а для ЕТР от 600 до 750 мм (для Meteosat-8 немного меньше, чем для Meteosat-11, т.к. захватывает более сухие регионы к востоку и юго-востоку от ЕТР) в зависимости от года и КА, т.е. в субглобальном масштабе вариабельность средних за несколько лет значений существенно меньше (не более 10-15 % от выпавшего значения), чем для небольших регионов (20-25 % и более от выпавшего значения). Основной максимум выпавших за год осадков (до 2000 мм) приходится на $\pm 10^\circ$ ш., в регионах $\pm 20-35^\circ$ ш. и в высоких широтах южного полушария за год выпадает не более 600 мм, а в умеренных широтах южного полушария и умеренных и высоких северного – от 600 до 900 мм (см. рис. 8). В среднем для круга обзора прибора SEVIRI/Meteosat-11 максимум месячных сумм осадков приходится на март-май ($\sim 80-90$ мм), а минимум на июнь-сентябрь ($\sim 55-65$ мм) независимо от года, для круга обзора прибора SEVIRI/Meteosat-8 максимум месячных сумм осадков пришёлся преимущественно на май-сентябрь ($\sim 75-105$ мм – активизации Индийского муссона), а минимум на октябрь-февраль ($\sim 70-85$ мм).

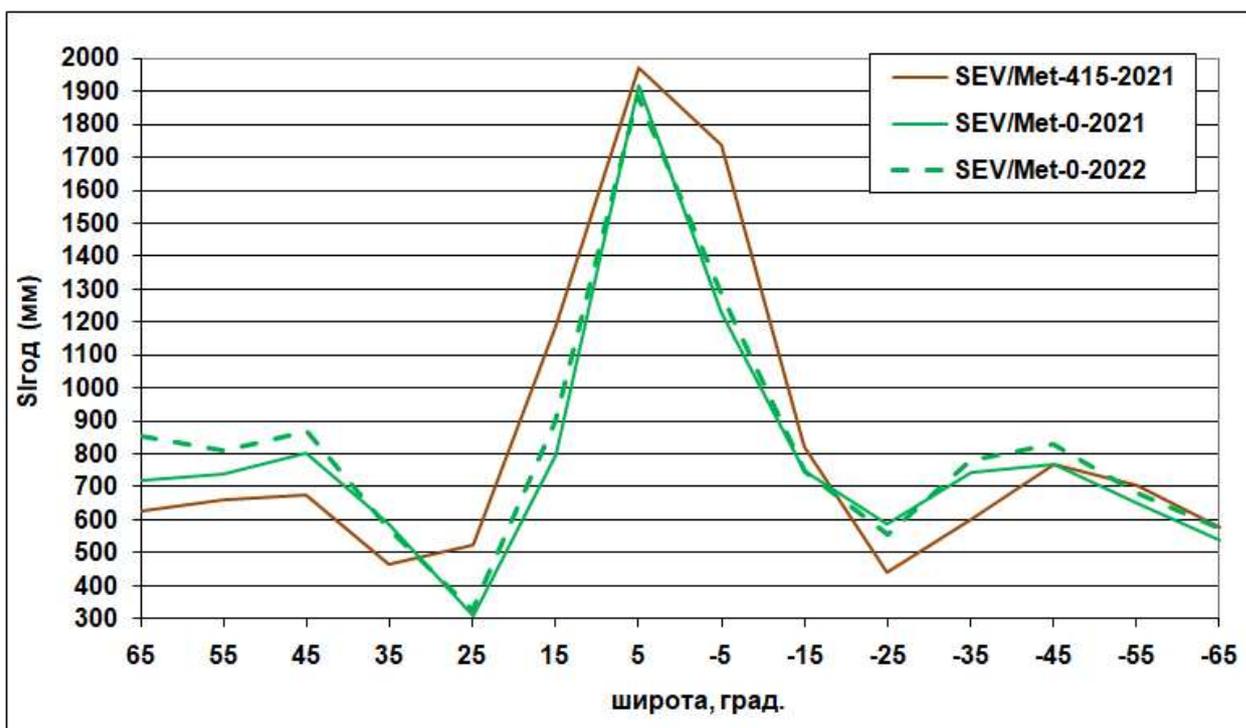


Рис. 8. Зональный ход годовых сумм осадков (мм) (АПК «SEVIRIncep», SEVIRI/Meteosat-11 (0° в.д.) и SEVIRI/Meteosat-8 (41,5° в.д.))

Для ЕТР более высокие месячные значения сумм осадков (~60-90 мм) связаны с тёплым периодом года, а более низкие (~30-60 мм) – с холодным. При анализе карт месячных и годовых значений сумм осадков видно, что максимумы осадков связаны с приэкваториальной зоной (ВЗК), а также повышенное количество отмечается в умеренных и высоких широтах, особенно над сушей и в тёплый период год. Меньше всего осадков выпадает над районами $\pm 20-30^\circ$ ш. Сравнение выходных продуктов по суммам осадков АПК «SEVIRIncep» и АПК «SEVIRIexter» показывает, что для большей части полного круга обзора приборов SEVIRI/Meteosat обе методики дают достаточно близкие результаты (расхождения в оценках $\Sigma I_{\text{год}}$ не превышают $\pm 25\%$ от измеренной величины), однако для некоторых регионов, особенно засушливых или очень влажных, расхождения могут достигать и даже превышать 50% от измеренной величины, т.е. АПК «SEVIRIncep» завышает осадки для сухих регионов и занижает для влажных, в т.ч. и при сравнении с наземными измерениями выпавших осадков на метеостанциях (см. рис. 9).

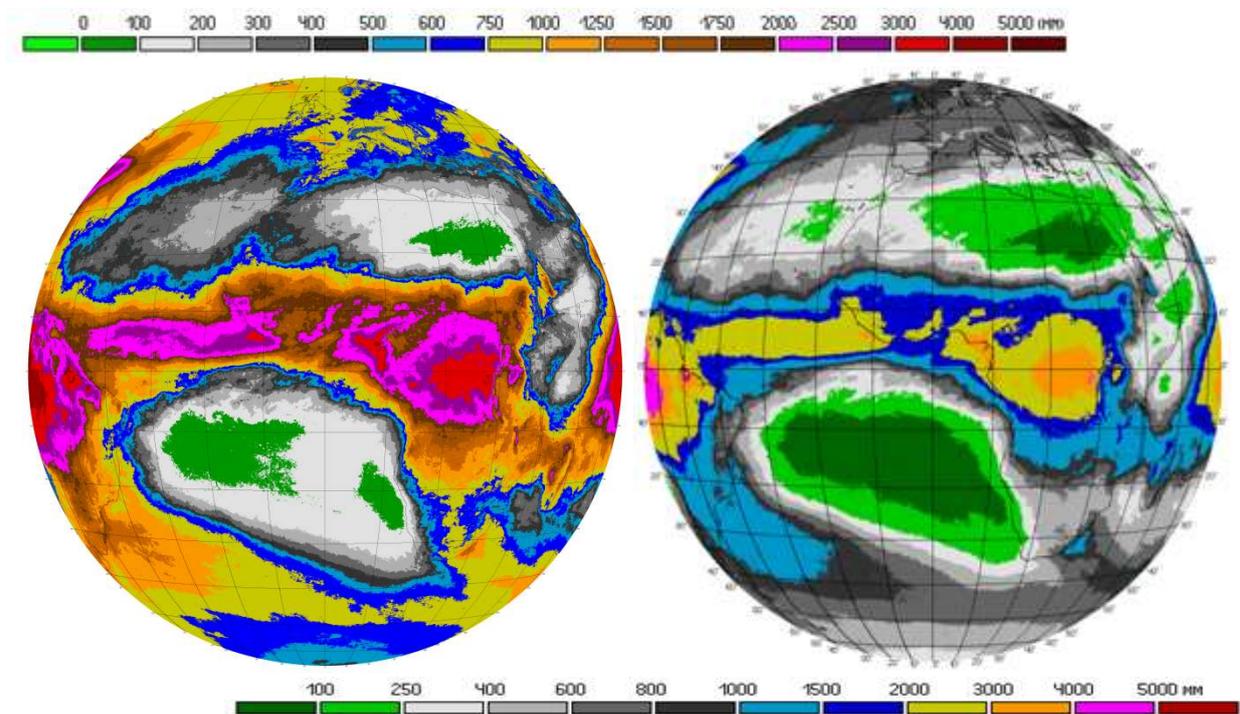


Рис. 9. Годовые (2022 г.) суммы осадков (мм), выходной продукт АПК: слева – «SEVIRI Incer» (шкала наверху), справа – «SEVIRI Exeter» (шкала внизу) (SEVIRI/Meteosat-11)

ВЫВОД. «Климатическая» информация о макро- и микрофизических характеристиках облачности и осадках, получаемая АПК «SEVIRI Incer», вполне пригодна для климатического мониторинга – спутниковые карты достаточно точно показывают местоположение основных минимумов и максимумов и позволяют отслеживать тенденцию изменения значений характеристик облачности и осадков в течение месяца и года. Однако оценки CFC получаются заметно (в среднем на 10-30 %) завышенными относительно климатических карт и оценок АПК «SEVIRI Exeter». Для некоторых параметров облачности иногда могут «просвечивать» водоёмы или суша. Менее точно, чем АПК «SEVIRI Exeter», оцениваются суммы осадков, а для построения карт Рэф рекомендуется использовать второй вариант расчёта (2022 г.).

Список литературы

1. Волкова Е.В. Использование информации радиометра SEVIRI с геостационарных метеоспутников серии Meteosat для мониторинга количества облачного покрова // Сборник тезисов Шестнадцатой Всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва, ИКИ РАН, 12-16 ноября 2018 г. С. 164. ISBN 978-5-00015-018-4. doi:10.21046/2070-16DZZconf-2018a.
2. 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.
3. Волкова Е.В. Оценки сумм осадков по данным радиометра SEVIRI с геостационарных метеоспутников серии Meteosat // Материалы 18й Всероссийской открытой конференции с международным участием "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", 16-20 ноября 2020 г., ИКИ РАН, Москва, 2020. С. 142. doi 10.21046/18DZZconf-2020a. ISBN 978-5-00015-052-8.

4. *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.

5. *Волкова Е.В., Кухарский А.В., Санникова Г.В., Павлов И.Н.* Валидация автоматизированной технологии диагноза параметров облачного покрова, осадков и опасных явлений погоды по данным радиометра SEVIRI с геостационарных метеоспутников серии Meteosat MSG // Информационный сборник. Результаты испытаний новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. 2021. № 48. С. 72-88.

6. *Чернокульский А.В., Мохов И.И.* Сравнение современных глобальных климатологий облачности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Т. 6. № 2. С. 235-243.