

# Изучение летнего индийского муссона в поле интегрального влагосодержания атмосферы по данным спутниковых микроволновых радиометров

*А.В. Кузьмин, Д.М. Ермаков, А.Г. Головки*

# Объект исследований: явление летнего индийского муссона как климатическог о маятника

- Летний индийский муссон значительно определяет уклад жизни населения п-ва Индостан, которое приближается к численности около двух миллиардов.
- Сезон летнего муссона продолжается в течение четырёх месяцев и приносит на полуостров 80 % годового количества осадков.
- Муссонные дожди существенно влияют на всю инфраструктуру сельского хозяйства и связанных с ним отраслей Индии и других близлежащих стран.

Время начала и конца муссона варьируется  
от региона к региону

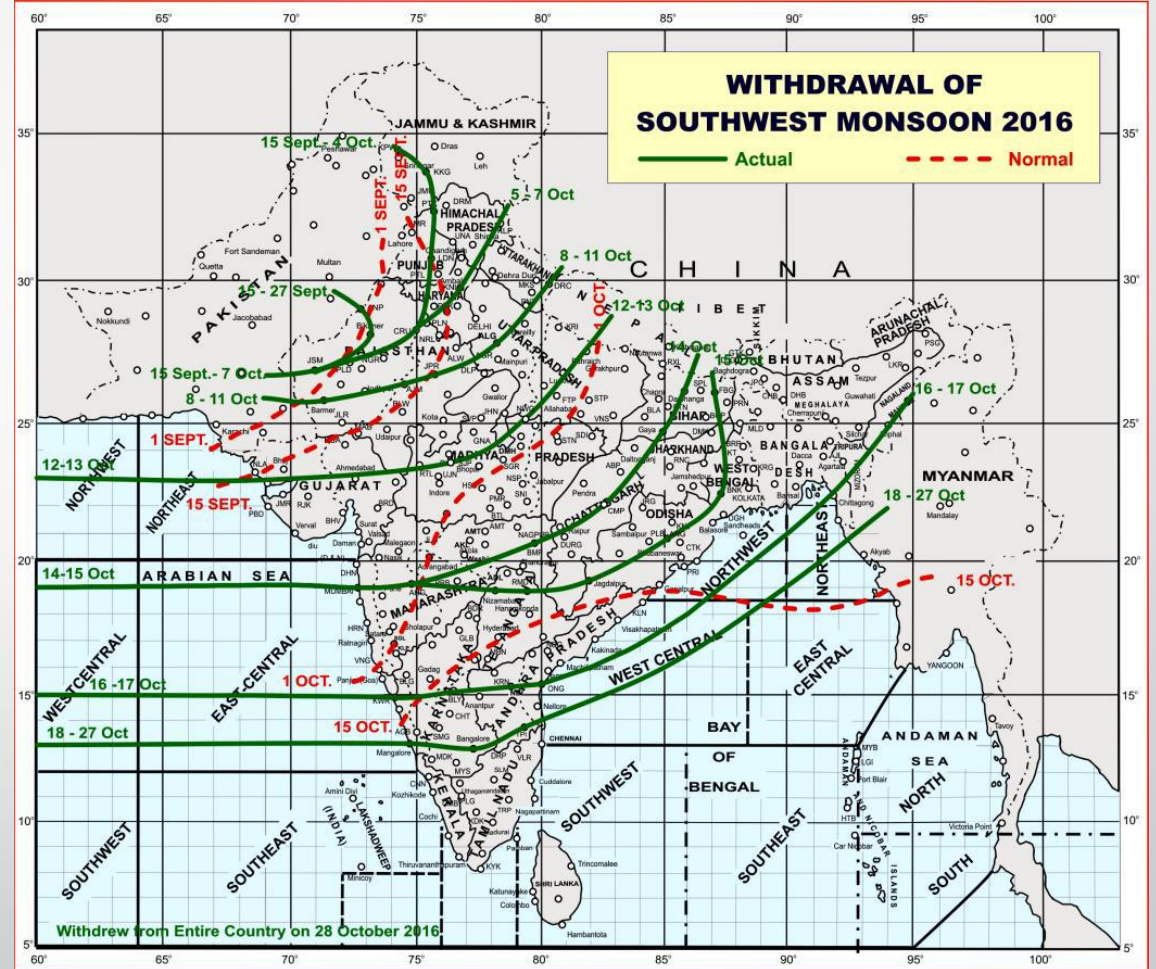
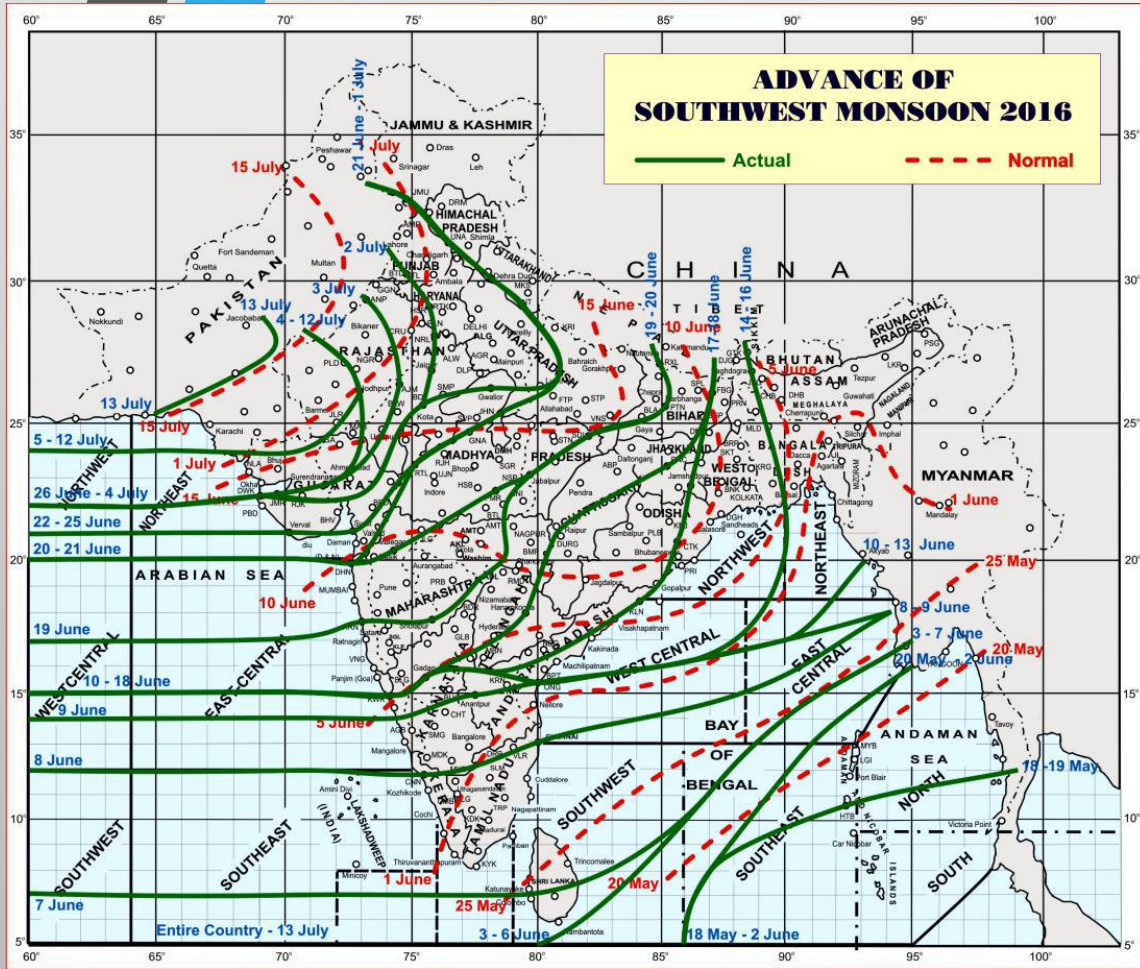
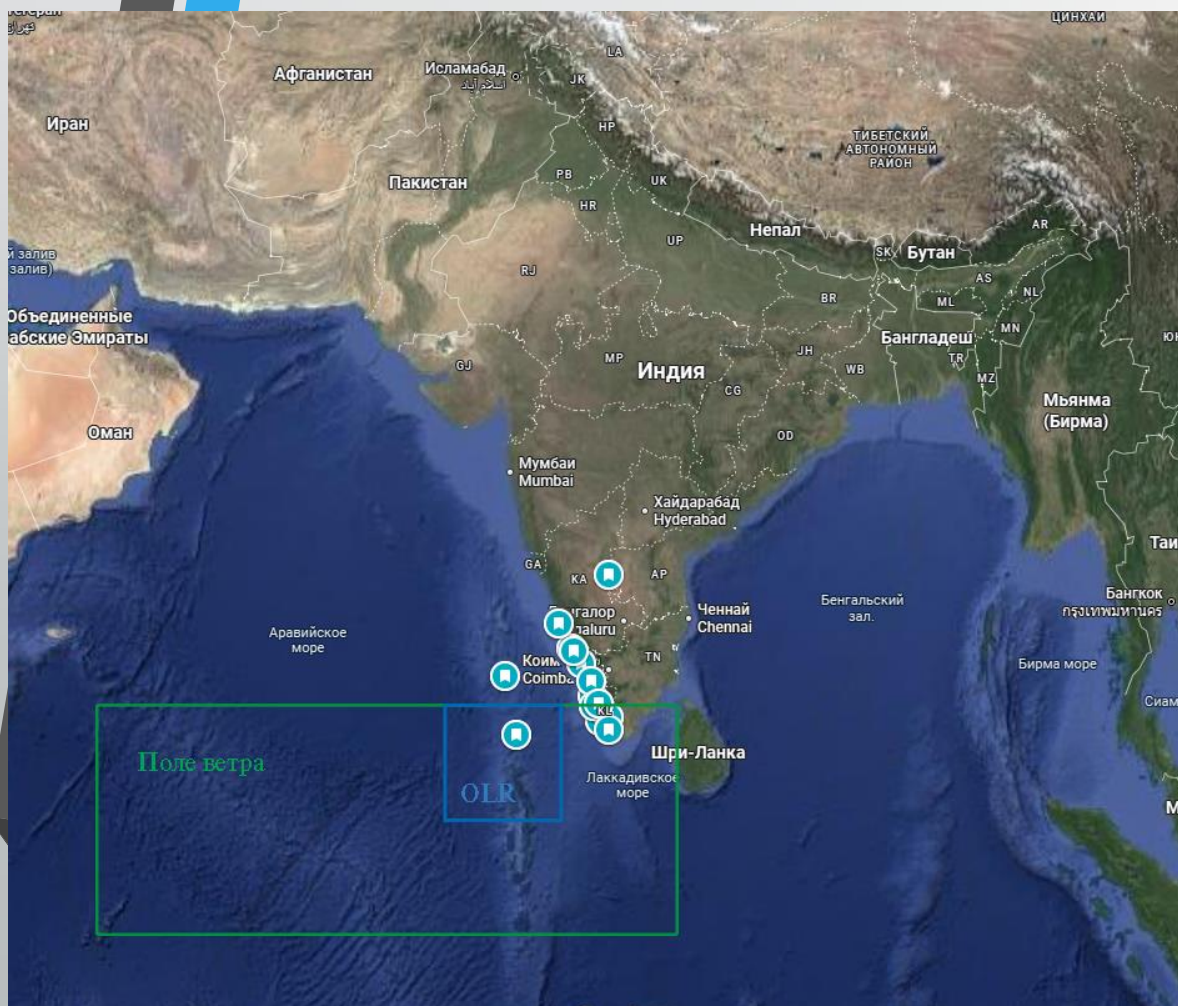


Схема времени начала и окончания летнего муссона  
по данным INDIA METEOROLOGICAL DEPARTMENT



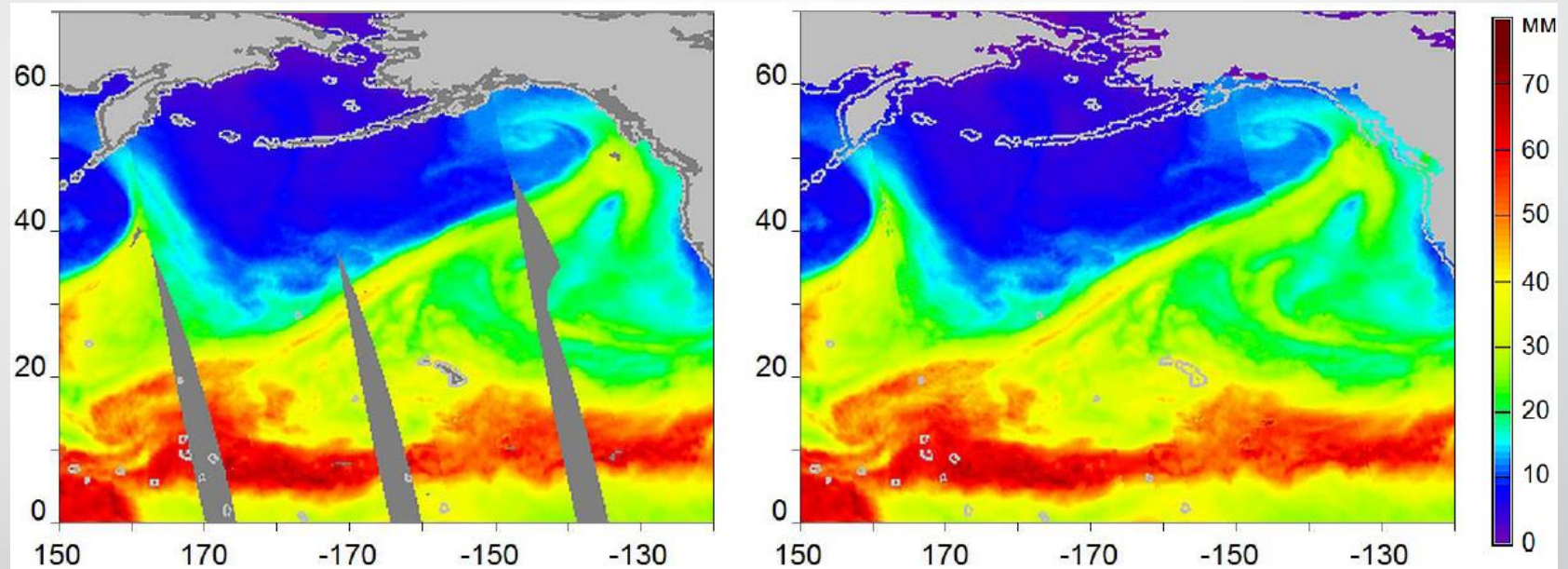
# Начало муссона по версии Индийского метеорологического департамента (ИМД) при выполнении следующих условий:



- Количество осадков. Если после 10 мая 60 % из 14 прибрежных метеостанций на территории континентальной Индии и индийских островах зафиксируют осадки до 2,5 мм в сутки или более в течение двух последовательных дней, то начало муссона над штатом Керала объявляется на второй день при условии выполнения следующих дополнительных требований.
- Поле ветра. Глубина западных ветров должна сохраняться до уровня 600 гПа в области, ограниченной экватором и  $10^{\circ}$  с.ш.,  $55^{\circ}$  в.д. и  $80^{\circ}$  в.д. Скорость зонального ветра в районе, ограниченном  $5-10^{\circ}$  с.ш. и  $70-80^{\circ}$  в.д., должна составлять порядка 15–20 узлов на уровне 925 гПа. Источником данных могут служить анализ ветров RSMC (*англ.* Regional Specialized Meteorological Centre <https://rsmcnewdelhi.imd.gov.in>) или данные о ветрах, полученные со спутников INSAT-3D (*англ.* Indian National SATellite), INSAT-3DR и INSAT-3DS.
- Уходящая длинноволновая радиация. Значение OLR, полученное с помощью спутника INSAT, должно быть ниже  $200 \text{ Вт/м}^2$  в области, ограниченной  $5-10^{\circ}$  с.ш. и  $70-75^{\circ}$  в.д. (синий контур на *рис. 2*)

# Инструмент исследований

- Микроволновые спутниковые данные SSMIS F16-F18 с применением методики спутникового радиотепловидения
- Была использована база данных ежедневных полей интегрального влагосодержания атмосферы (ИВА) за период с 2012 по 2021 гг.



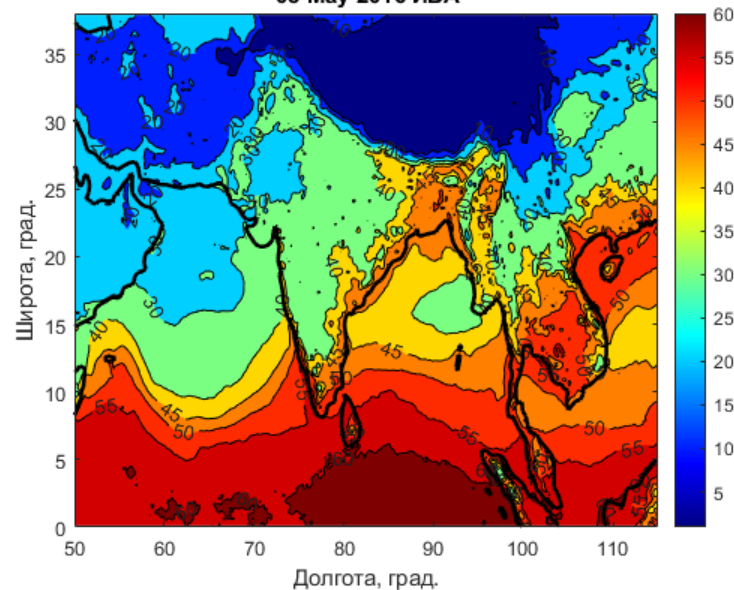
Фрагмент поля интегрального влагосодержания атмосферы над Тихим океаном (цветовая шкала значений в мм – справа) за 01.12.2016: а) мозаика по данным SSMIS F16 и SSMIS F17; б) продукт спутникового радиотепловидения.

Географические координаты фрагмента в градусах; положительные значения – для северного и восточного полушарий, отрицательные – для южного и западного

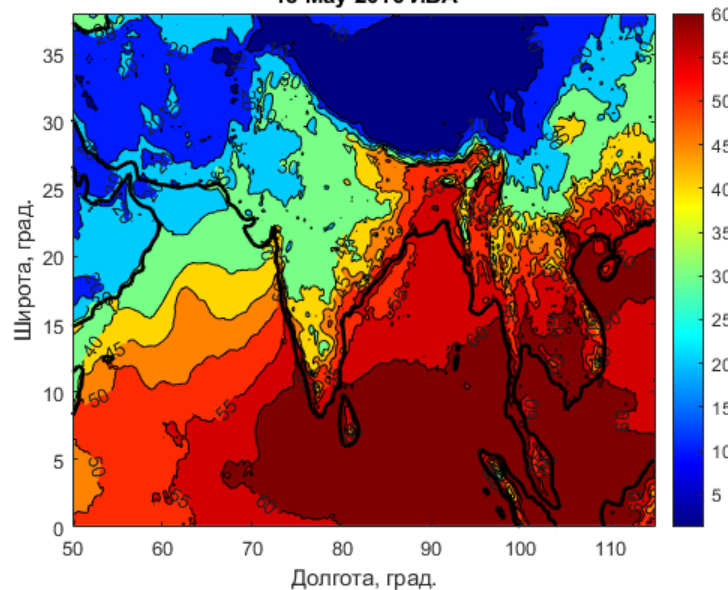


# Район исследований - пример 2016 г.

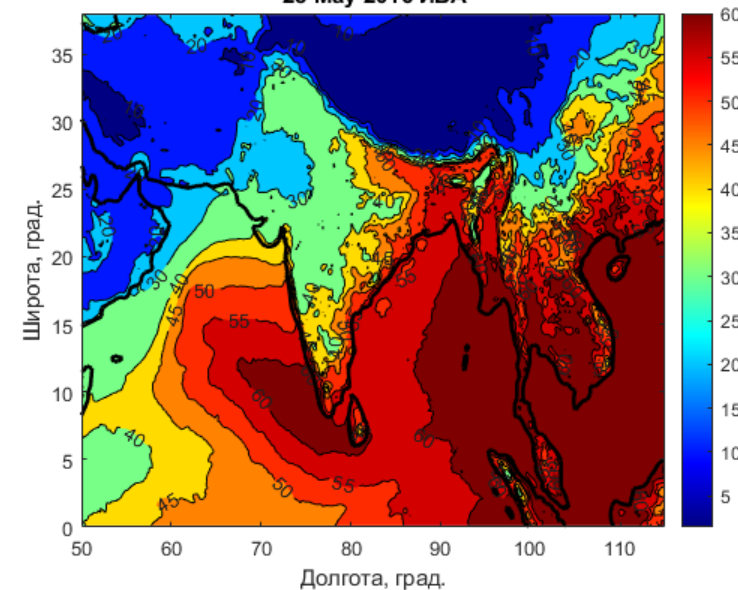
08-May-2016 ИВА



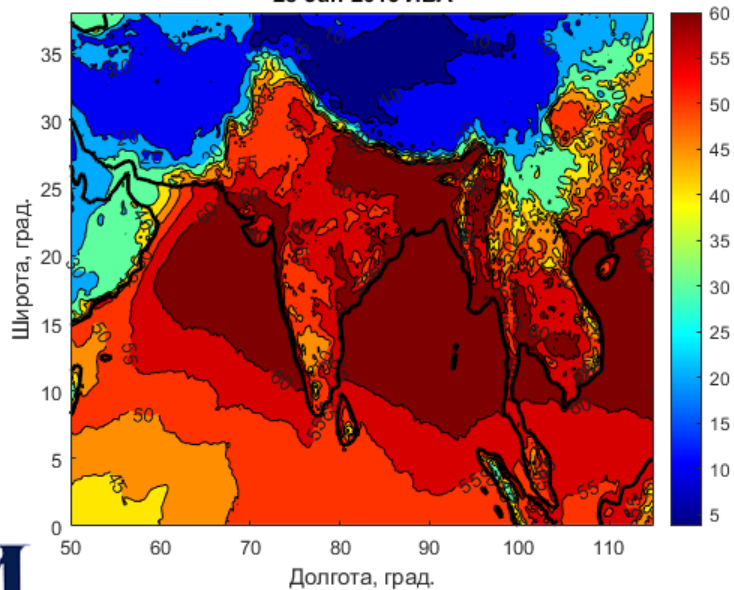
18-May-2016 ИВА



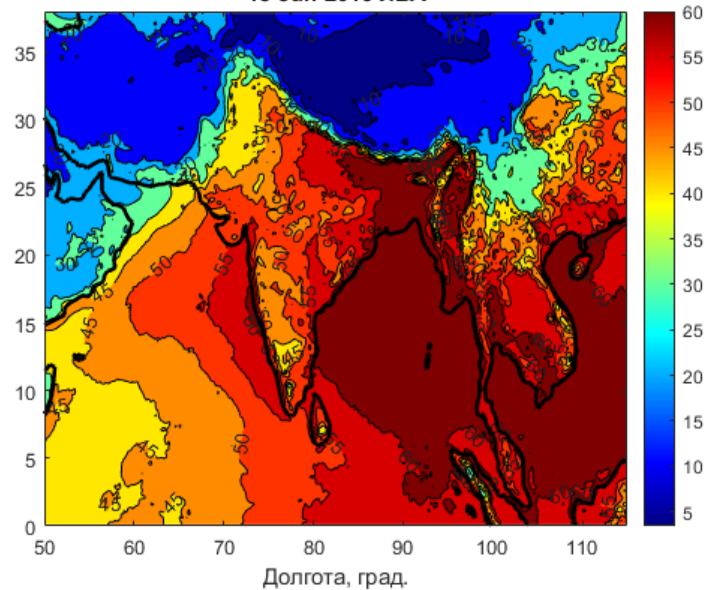
28-May-2016 ИВА



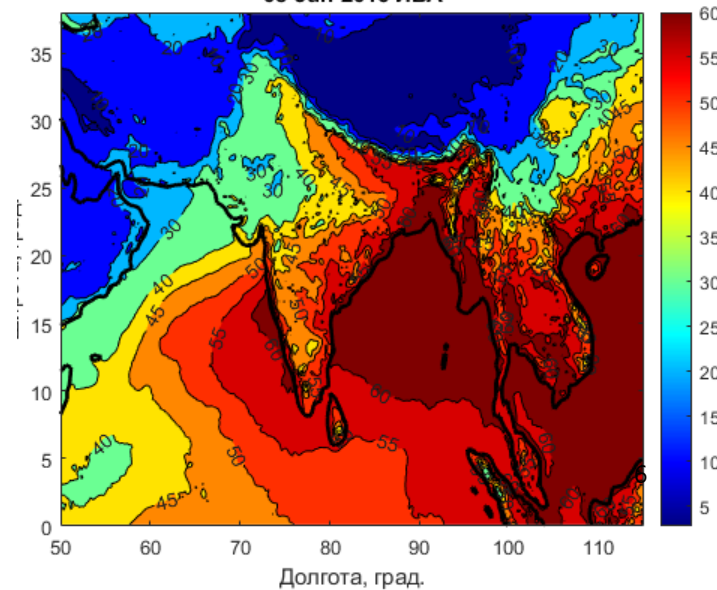
28-Jun-2016 ИВА



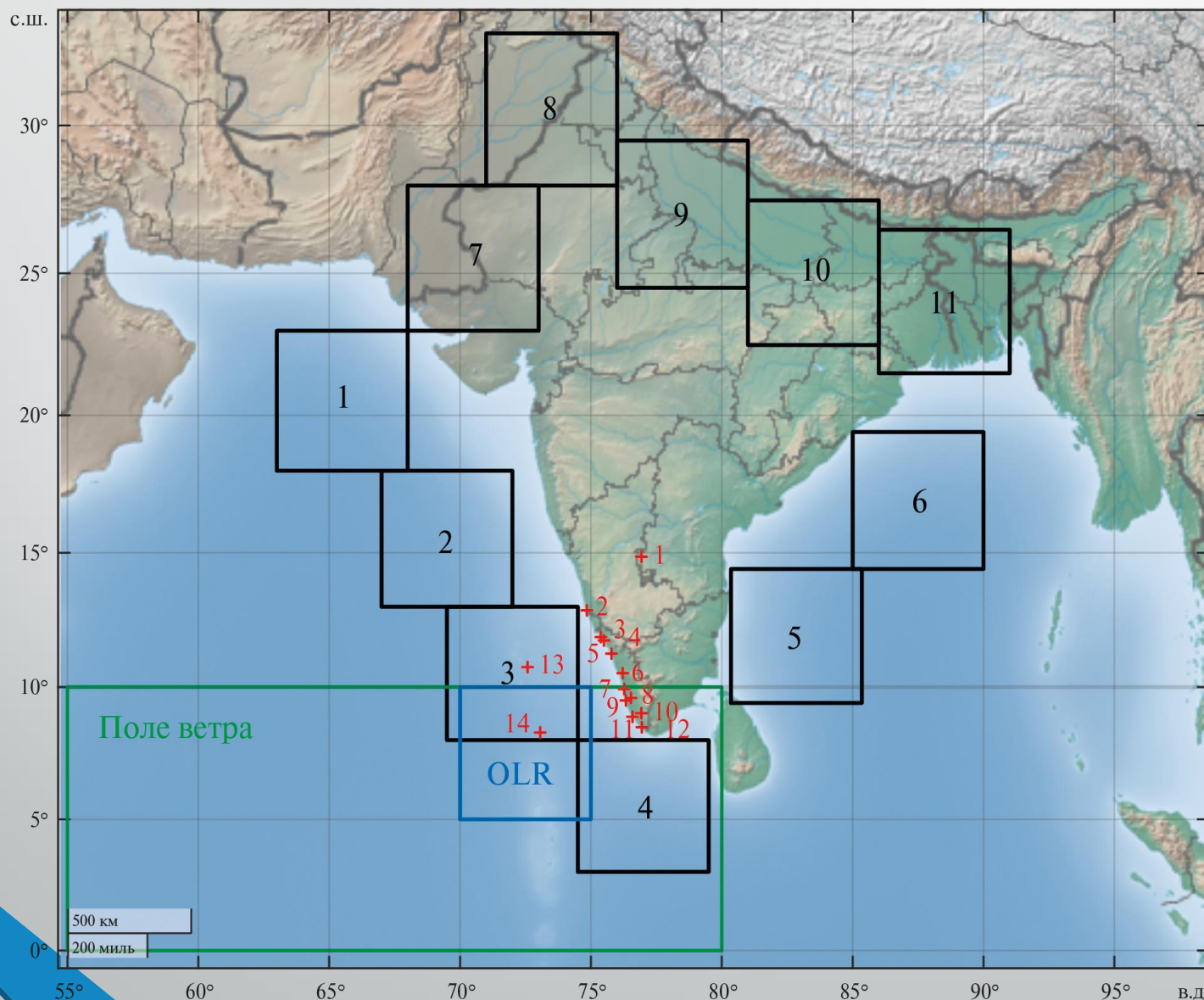
18-Jun-2016 ИВА



08-Jun-2016 ИВА



# Для исследований выделены одиннадцать районов



Каждый из районов  
размером  $5 \times 5^\circ$

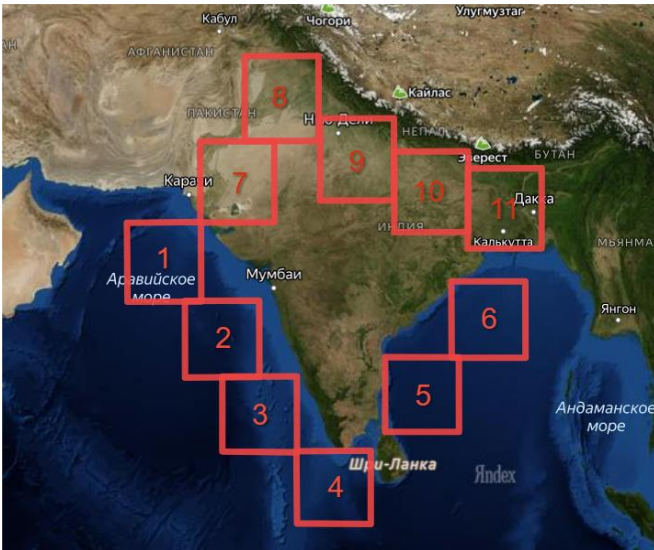
- Красные кресты — индийские метеостанции;
- Синий квадрат — район оценки уходящей длинноволновой радиации OLR (англ. Outgoing Longwave Radiation);
- Зелёный прямоугольник — район анализа поля ветра

## Определение начала и конца муссона по данным ERA5 и ИВА

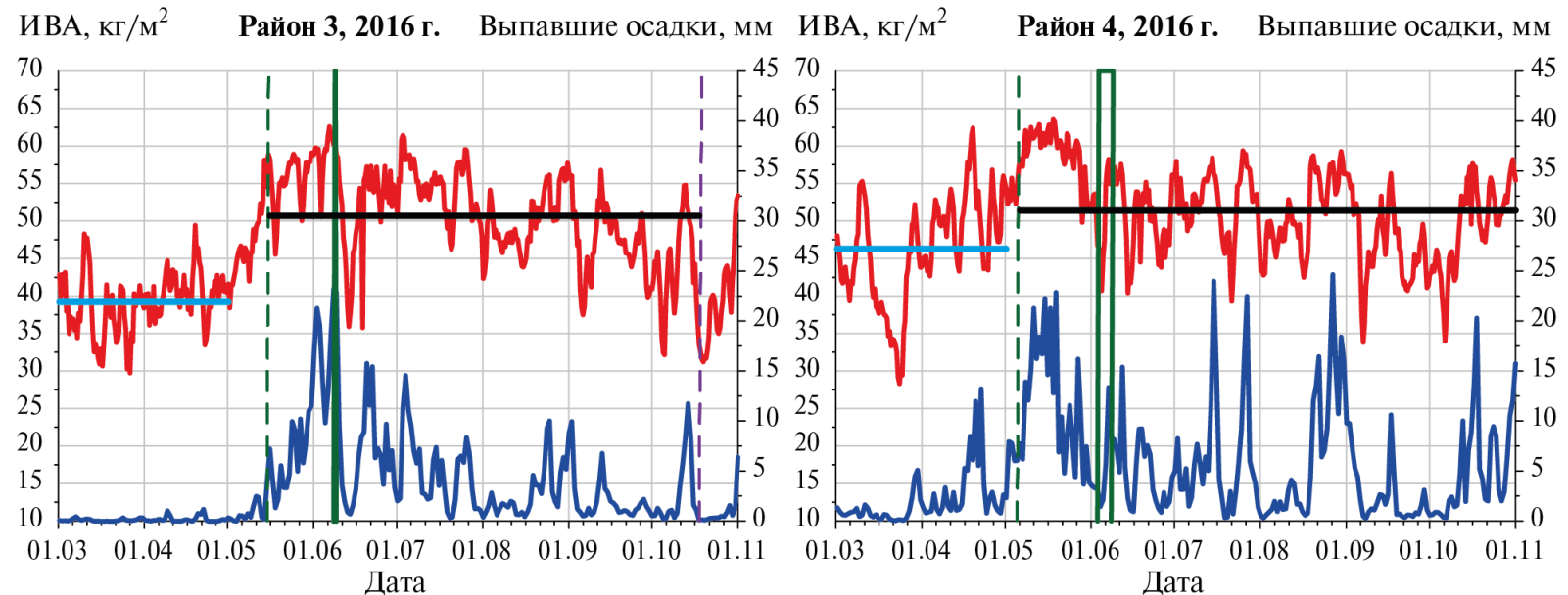
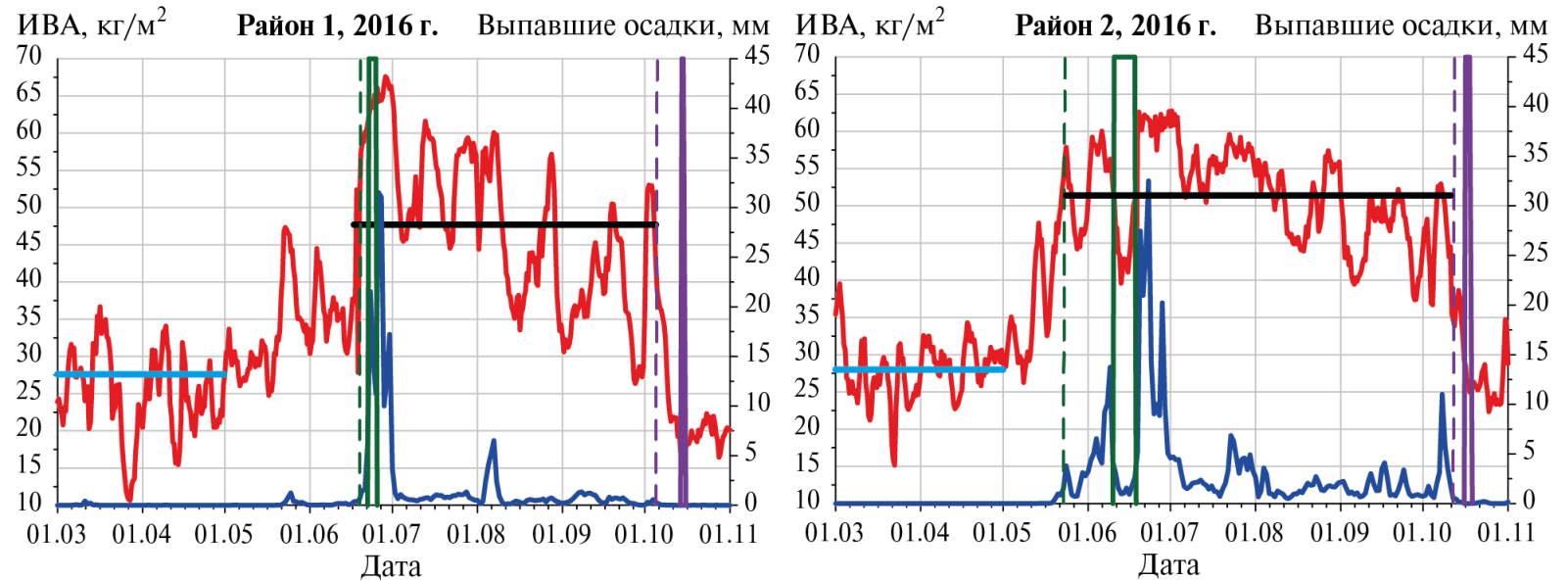
- Сумма выпавших осадков в сутки должна превышать 2 мм и продолжительность осадков составлять не менее 15 дней;
- Значение ИВА должно достигать примерно среднего уровня для периода дождей;
- Окончание муссона по данным ERA5 определялось, когда величина выпавших осадков в районе уменьшалась до 1 мм и значение ИВА снижалось до уровня менее 35 кг/м<sup>2</sup>.



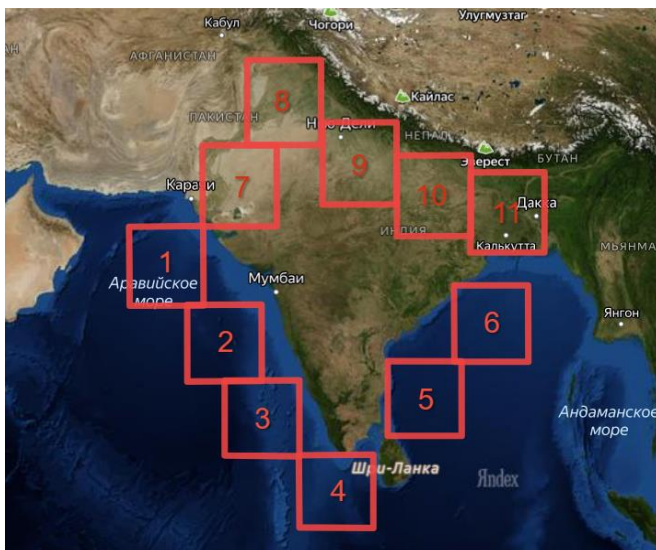
# Пример данных ИВА за 2016 г. районы 1 – 4



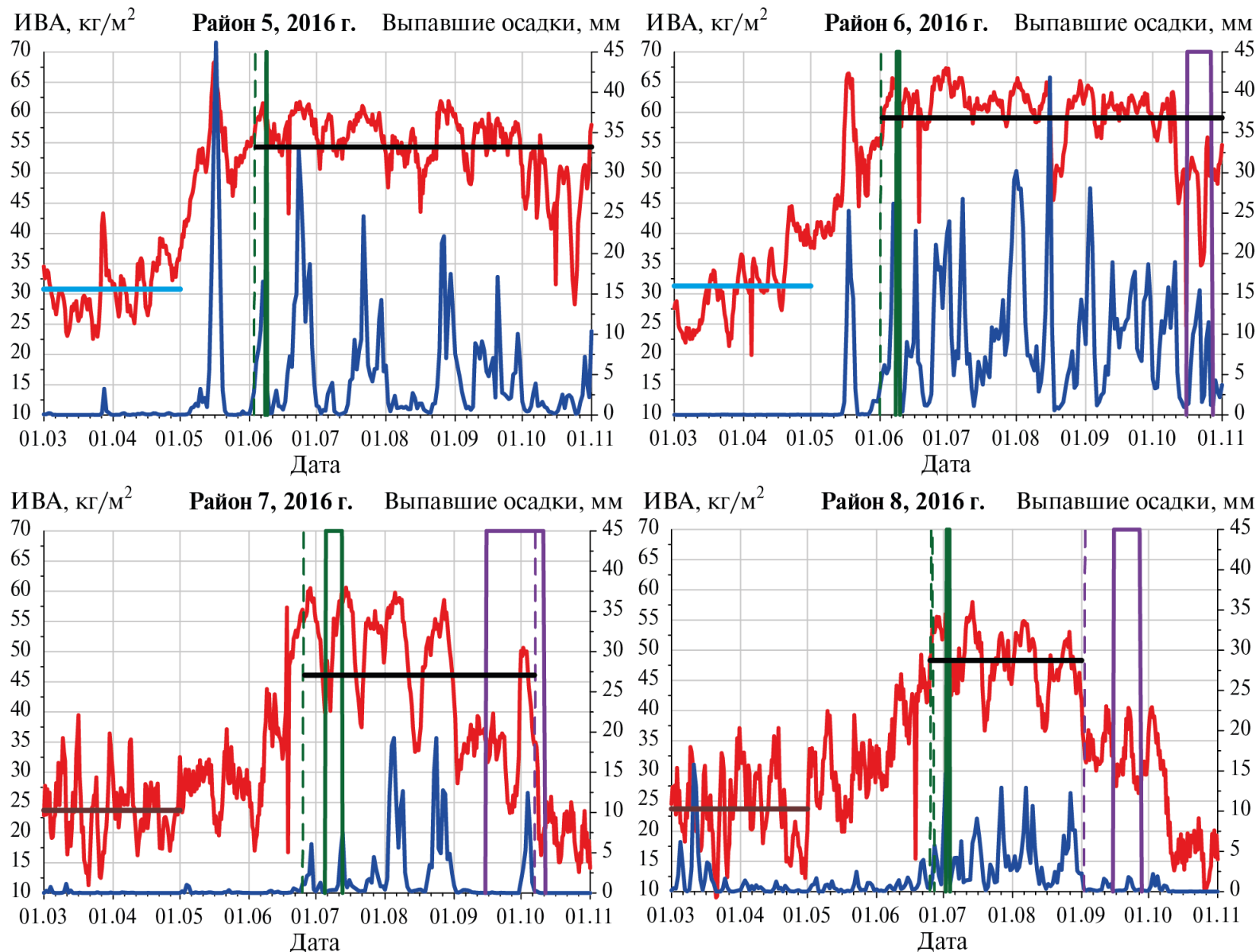
Красная кривая - данные ИВА;  
 синяя кривая - суточные осадки (ERA5);  
 Зелёные вертикальные линии - начало периода муссонов по данным ИМД;  
 Сиреневые - окончание по данным ИМД;  
 Штриховые линии - по осадкам из реанализа ERA5;  
 Голубая прямая показывает средний уровень ИВА за период с 1 марта по 1 мая;  
 Чёрная прямая - средний уровень за период муссона

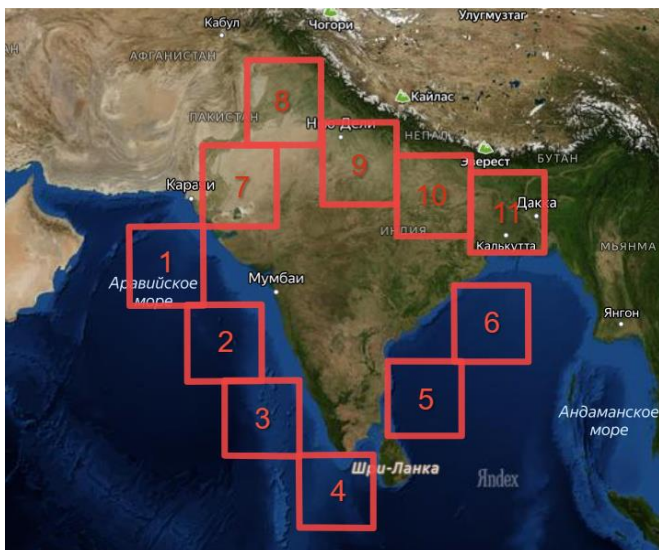


# Пример данных ИВА за 2016 г. районы 5 – 8

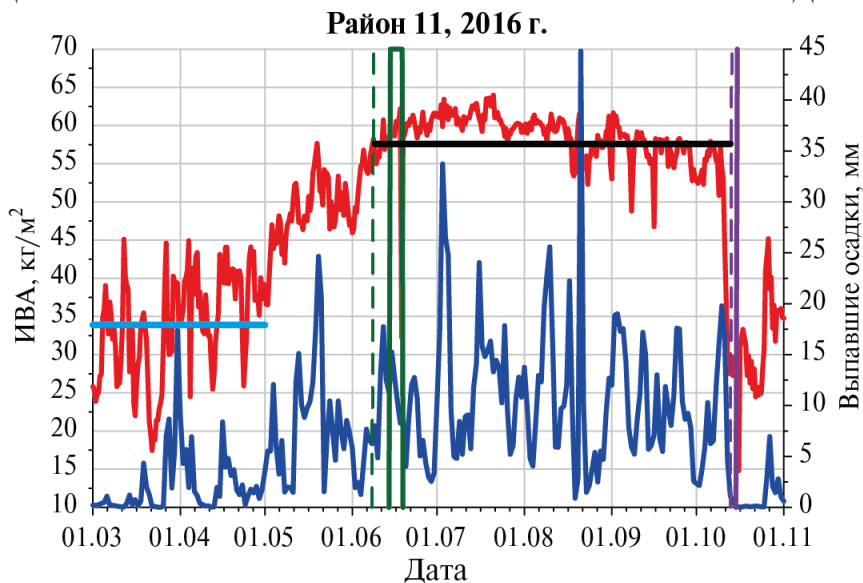
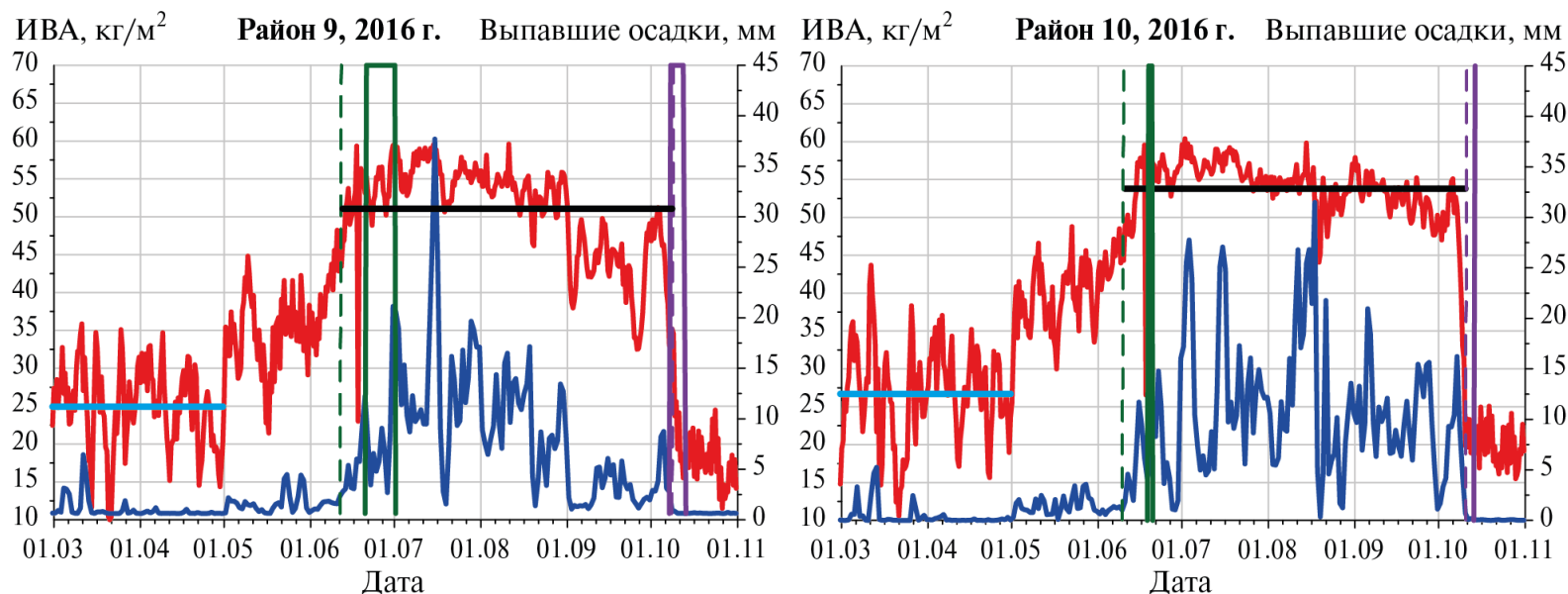


Красная кривая - данные ИВА;  
 синяя кривая - суточные осадки (ERA5);  
 Зелёные вертикальные линии - начало периода муссонов по данным ИМД;  
 Сиреневые - окончание по данным ИМД;  
 Штриховые линии - по осадкам из реанализа ERA5;  
 Голубая прямая показывает средний уровень ИВА за период с 1 марта по 1 мая;  
 Чёрная прямая - средний уровень за период муссона





## Пример данных ИВА за 2016 г. районы 9 – 11



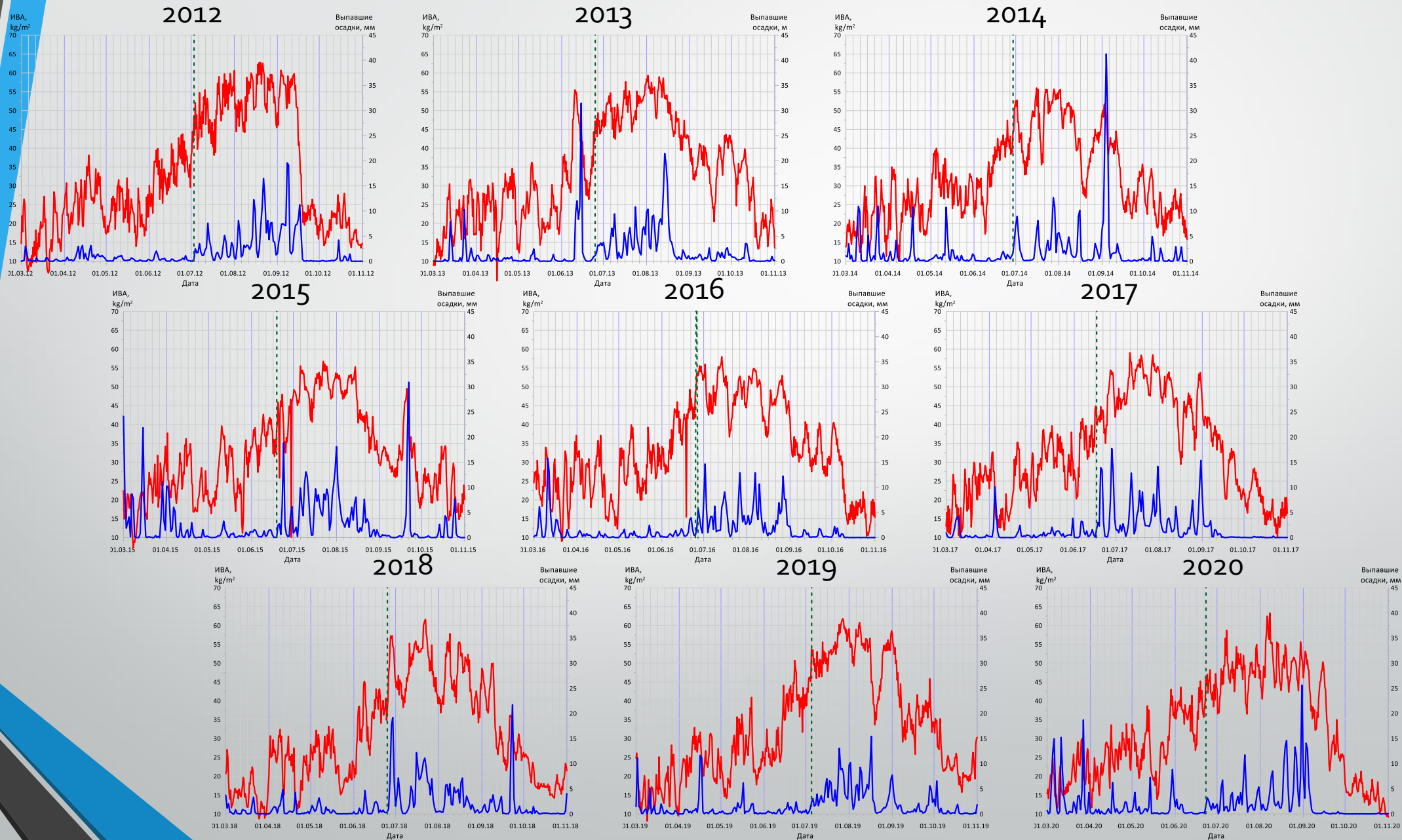
Красная кривая - данные ИВА;  
синяя кривая - суточные осадки (ERA5);  
Зелёные вертикальные линии - начало периода муссонов по данным ИМД;  
Сиреневые - окончание по данным ИМД;  
Штриховые линии - по осадкам из реанализа ERA5;  
Голубая прямая показывает средний уровень ИВА за период с 1 марта по 1 мая;  
Чёрная прямая - средний уровень за период муссона



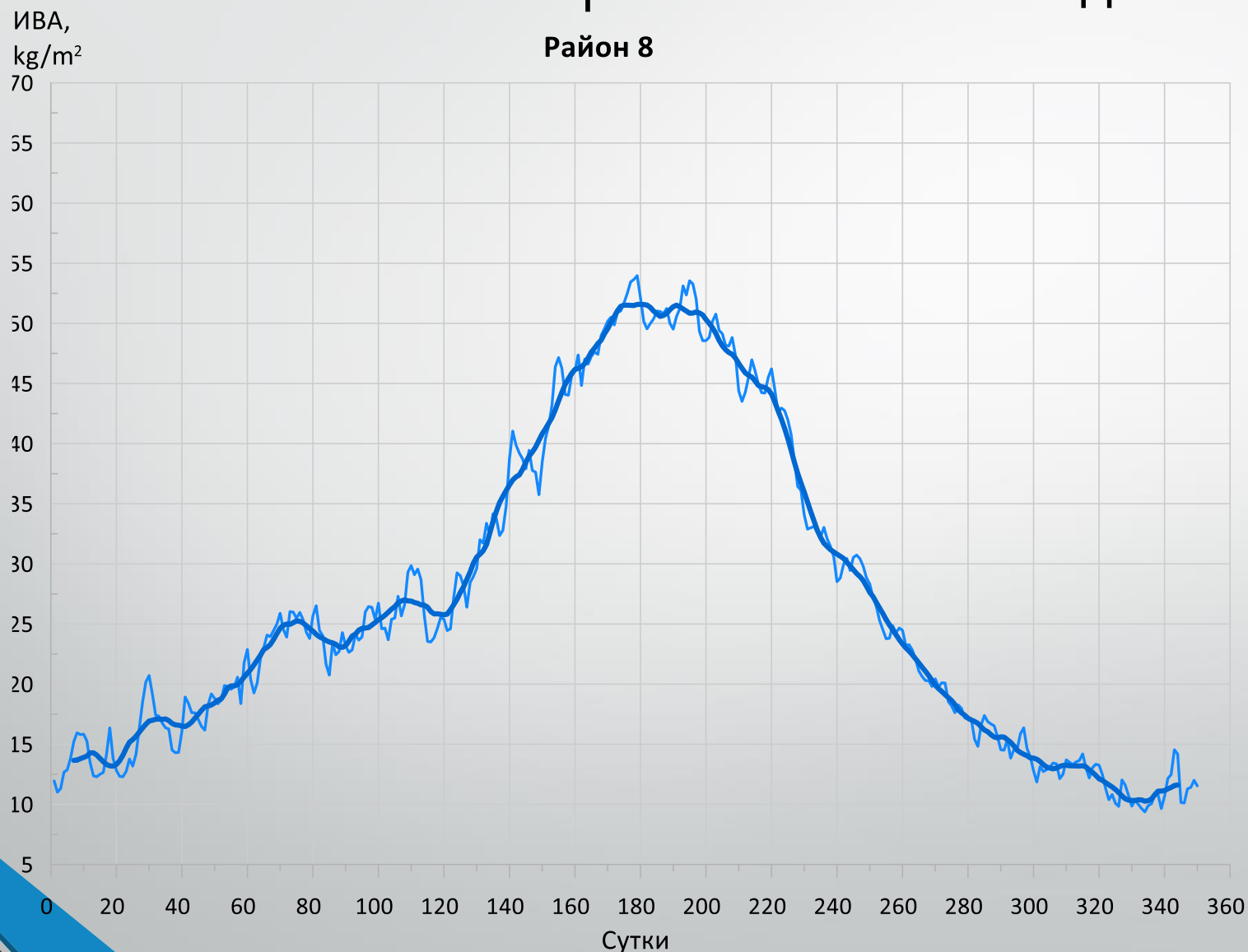
## Обсуждение результатов

- Во всех исследуемых 11 районах отмечается возрастание ИВА с весенних значений (с 1 марта по 1 мая) до значений во время периода дождей.
- Прирост ИВА во всех районах лежит в интервале 22–27 кг/м<sup>2</sup>, за исключением четвёртого района, который находится в Индийском океане и ближе всего расположен к зоне ВЗК, а также в районе 3, где прирост составляет всего 11,5 кг/м<sup>2</sup>.
- Начало выпадения осадков по данным ERA5 часто не совпадает с началом периода муссонов, определённым по версии ИМД. Так, для районов 2–4 существенные осадки начинаются на 20–25 дней раньше, а для остальных районов на 5–7 дней раньше, чем по версии ИМД.
- Окончание периода муссонов чётко отслеживается для районов 1–2 и 7–11, когда ИВА снижается с 55–45 до 35–25 кг/м<sup>2</sup>. Для районов 3–6 определить окончание муссона не представляется возможным, так как дожди не прекращаются до 1 ноября и высокий уровень значений ИВА сохраняется.
- Для всех районов (кроме района 4) наблюдается возрастание ИВА перед приходом муссона, выход на условно постоянные значения «плато» и резкое снижение ИВА с окончанием периода дождей

# Пример ИВА района 8 за все года



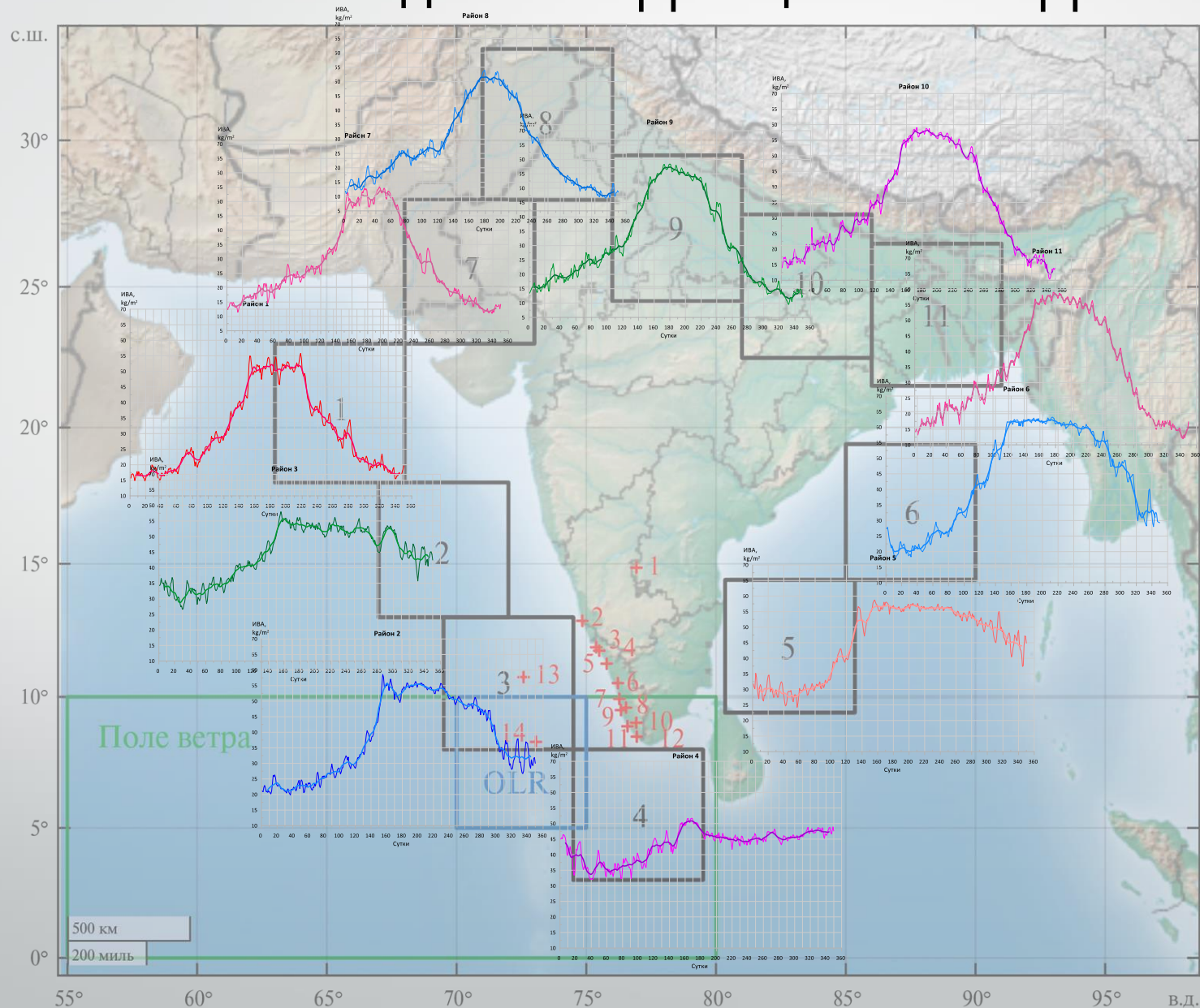
# Усредненные значения ИВА с выровненными данными по времени начала осадков



- Первый шаг: выравнивание данных по времени начала осадков и получение среднего ИВА по району;
- Второй шаг: проверка и коррекция по корреляции между средним по району ИВА - «шаблоном» и годовым ИВА;
- Третий шаг: получение нового среднего «шаблона» по району;
- Четвертый шаг проверка по корреляции между средним «шаблоном» и годовым ИВА.



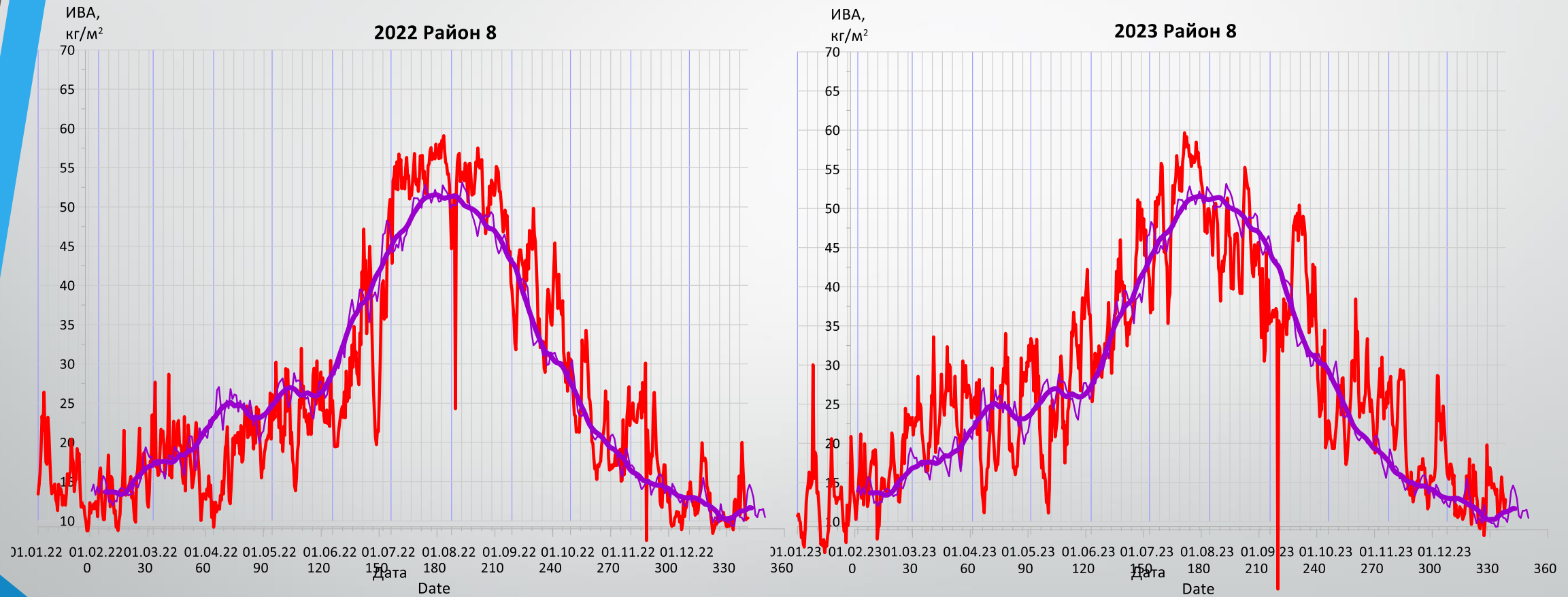
# Усредненные значения ИВА с выровненными данными по времени начала осадков с коррекцией по корреляции



## Корреляция каждого района ИВА с «шаблоном»

Region	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>1</b>	0,89	0,92	0,88	0,86	0,85	0,89	0,91	0,90	0,95
<b>2</b>	0,90	0,92	0,88	0,86	0,89	0,89	0,91	0,91	0,92
<b>3</b>	0,76	0,77	0,74	0,83	0,83	0,84	0,83	0,80	0,92
<b>4</b>	0,50	0,63	0,67	0,67	0,63	0,58	0,67	0,65	0,79
<b>5</b>	0,82	0,86	0,87	0,84	0,89	0,85	0,87	0,85	0,93
<b>6</b>	0,90	0,92	0,92	0,90	0,92	0,91	0,91	0,90	0,92
<b>7</b>	0,91	0,90	0,81	0,89	0,88	0,91	0,92	0,91	0,91
<b>8</b>	0,87	0,86	0,81	0,87	0,87	0,87	0,89	0,90	0,91
<b>9</b>	0,93	0,93	0,85	0,87	0,92	0,92	0,94	0,95	0,91
<b>10</b>	0,92	0,93	0,91	0,88	0,89	0,92	0,93	0,92	0,92
<b>11</b>	0,92	0,91	0,92	0,87	0,91	0,90	0,92	0,90	0,93


# Наложение «шаблона» на данные 2022 и 2023 гг.





## Выводы

- Проведён анализ интегрального влагосодержания атмосферы (ИВА) в летний период индийского муссона за 2012–2021 гг. Для получения ИВА используются микроволновые радиометрические данные спутников SSMIS F16-F18. В восстановлении ИВА из данных SSMIS использовалась технология искусственных нейронных сетей и методика подхода спутникового радиотепловидения.
- Исследованы 11 районов вокруг полуострова Индостан. Каждый район был выбран размером  $5 \times 5^\circ$ . Данные ИВА анализируются совместно с оценками суммарно выпавших осадков, взятых по реанализу ERA5.
- Во всех анализируемых районах наблюдается высокая корреляция динамики суммарно выпавших осадков и величин ИВА. Возрастание ИВА происходит перед периодом дождей примерно с марта до начала муссона, затем ИВА выходит на условно постоянные значения, «плато», и в течение этого периода происходят интенсивные дожди. Затем происходит резкое снижение ИВА с окончанием периода дождей.
- Построены усредненные значения ИВА - «шаблоны» - с выровненными данными по времени начала осадков. Такие «шаблоны» могут быть использованы для улучшения прогноза начала и конца муссона.

- 
- Спасибо за ваше  
внимание!