

«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»
ИКИ РАН

Анализ многолетней крупномасштабной динамики интегрального влагосодержания атмосферы в период летнего Индийского муссона

Головко А.Г.¹, Ермаков Д.М.^{2, 3}, Кузьмин А.В.²

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), Санкт-Петербург, Россия

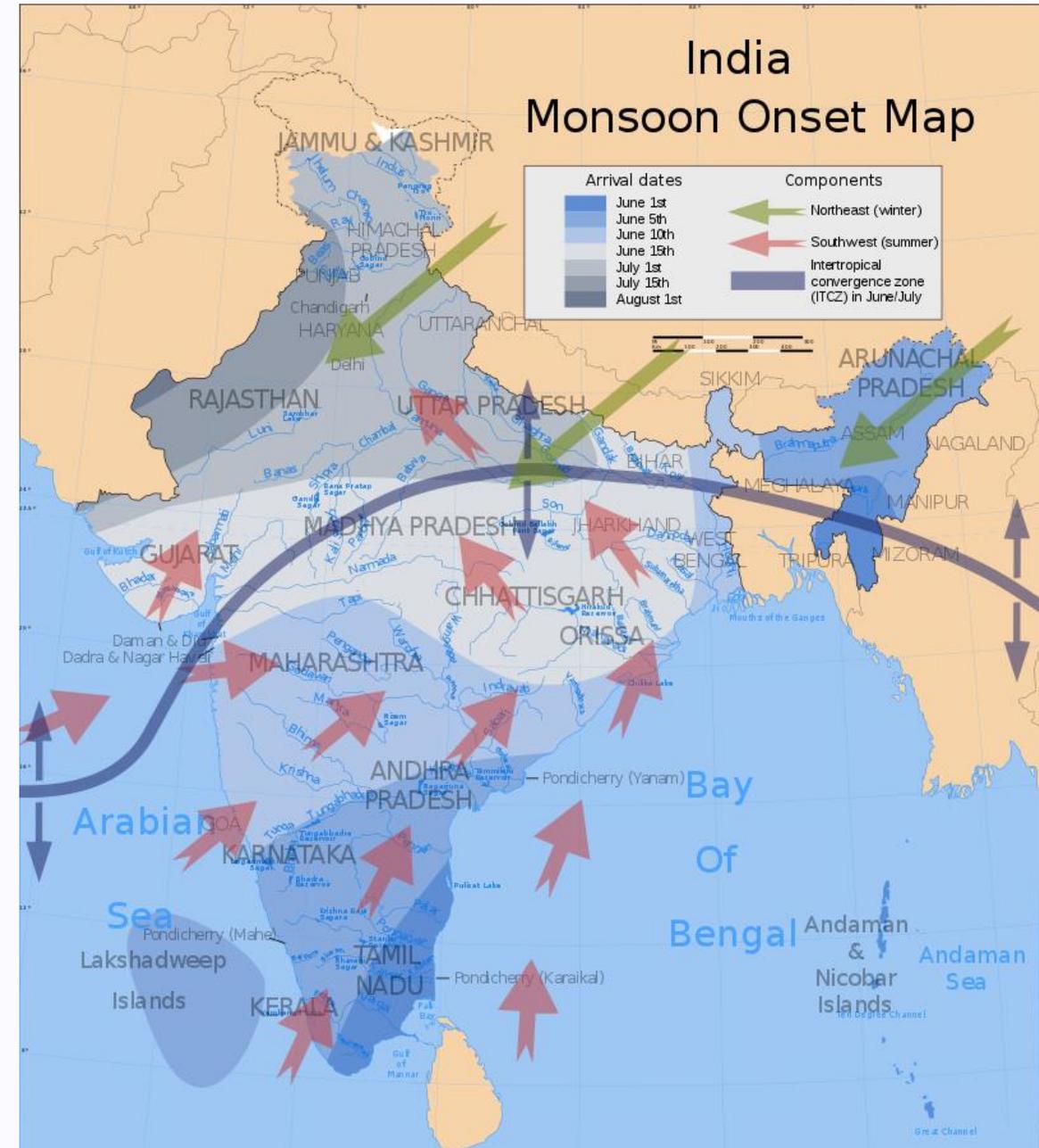
² Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

³ Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Фрязинский филиал (ФИРЭ им. В.А.Котельникова РАН), Фрязино, Московская область, Россия

Москва
2024

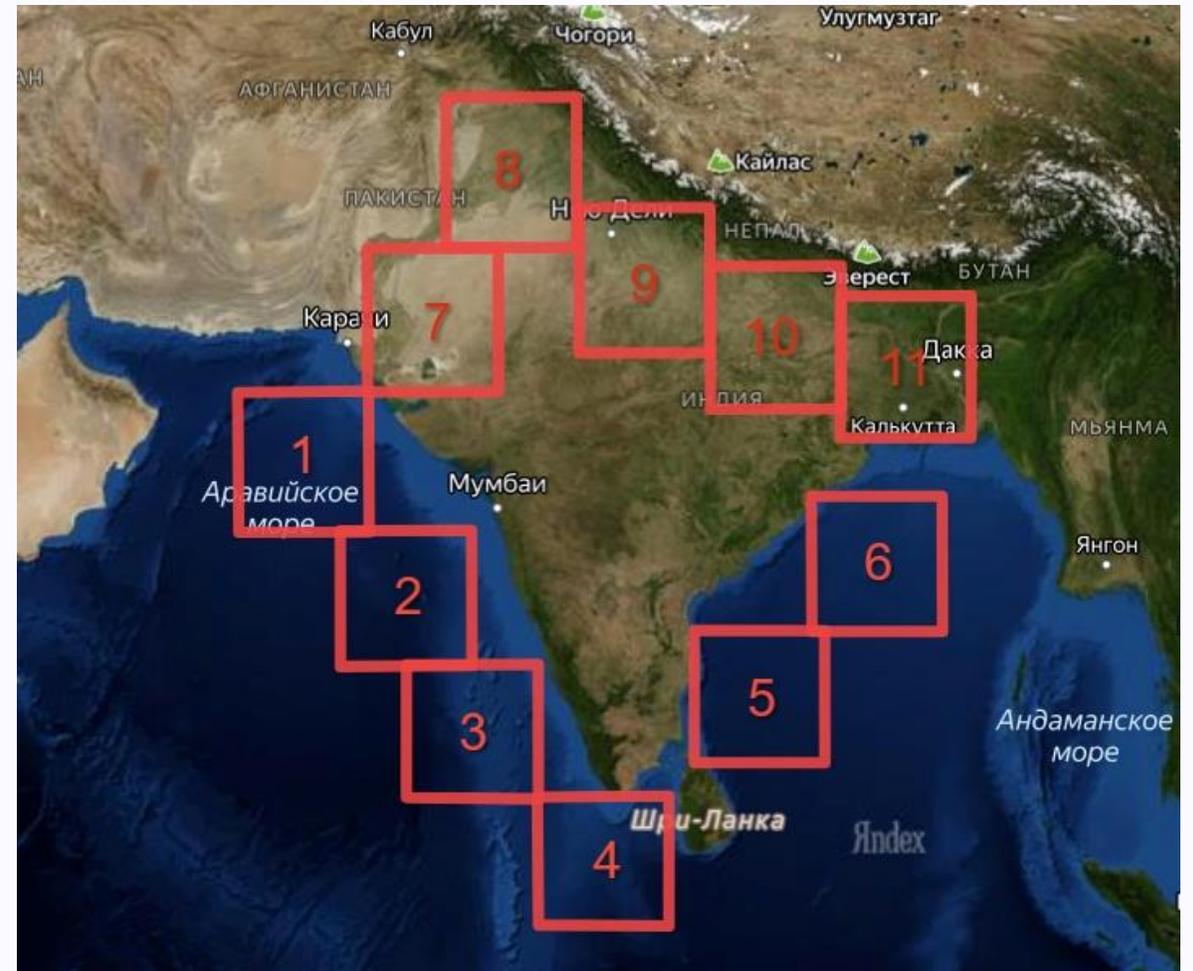
Актуальность

- Муссон влияет на всю инфраструктуру сельского хозяйства и связанных с ним отраслей Индии и других близлежащих стран. Для производства сельскохозяйственной продукции критически важно **знать заранее сроки начала и конца муссонного периода.**
- В последние десятилетия появилась возможность по спутниковым данным радиотеплового зондирования Земли восстанавливать **поля интегральных по высоте полей интегрального влагосодержания атмосферы (ИВА).**
- Принципиальную роль играет **пространственно-временное** распределение водяного пара в атмосфере Земли.
- Рассмотрена динамика интегрального влагосодержания в 11 районах близ Индийского полуострова: в Аравийском море и Бенгальском заливе **с 2012 по 2023 гг.** и проанализированы временные характеристики муссонного периода.



Область исследования

Районы представляют собой квадрат $3^{\circ} \times 3^{\circ}$, расположенные над северной частью Индийского океана, полуостровом Индостан, в восточной части Аравийского моря и западной — Бенгальского залива.



Районы исследования

Радиометрические данные

- Для восстановления **PWV** (precipitable water vapor) использовались данные спутников SSMIS за **2012-2023 гг.**
- **Была использована ИНС.** Для восстановления PWV использовалась технология искусственных нейронных сетей (ИНС) прямого распространения с **10 нейронами** в скрытом слое с передаточной функцией tanh.
- В качестве входов ИНС использовались радиометрические данные TDR Base (L1A) SSMIS F16-F18 каналов 1-18 и высота рельефа с флагом типа поверхности. Всего — 20 входов. Выход — значение PWV.
- Для обучения ИНС использовались данные **реанализа ECMWF Era 5 за 2020 год**, совмещённые со спутниковыми данными по времени в пределах ± 15 мин. Размер обучающей выборки составил **5 млн точек.**
- Для тестирования сети использовались **3 млн точек** измерений SSMIS, совмещённых с данными Era 5. По результатам **тестирования точность восстановления PWV** предложенным нейросетевым алгоритмом над всеми типами поверхности составила **2,4 мм**, а над сушей — **около 3 мм**. По данным TDR Base (L1A) SSMIS F16-F18 были получены ежедневные поля водяного пара за период с 2012 по 2023 гг.

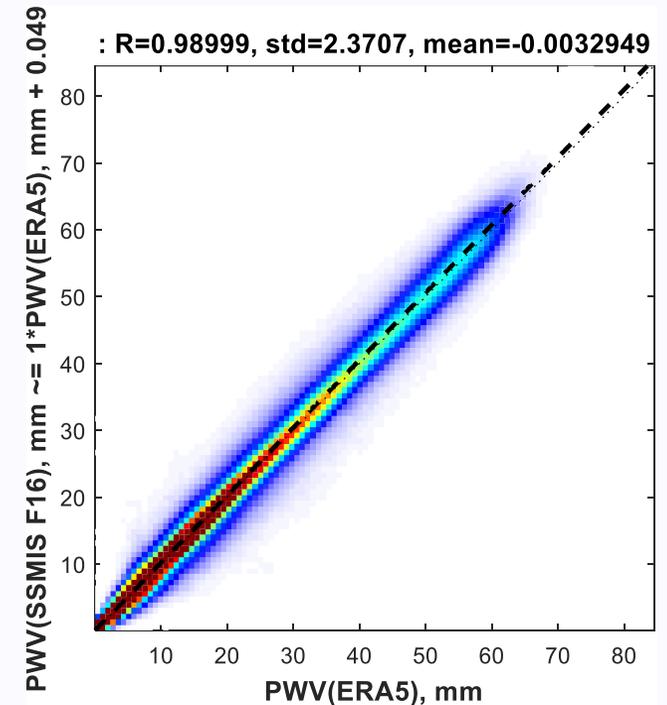
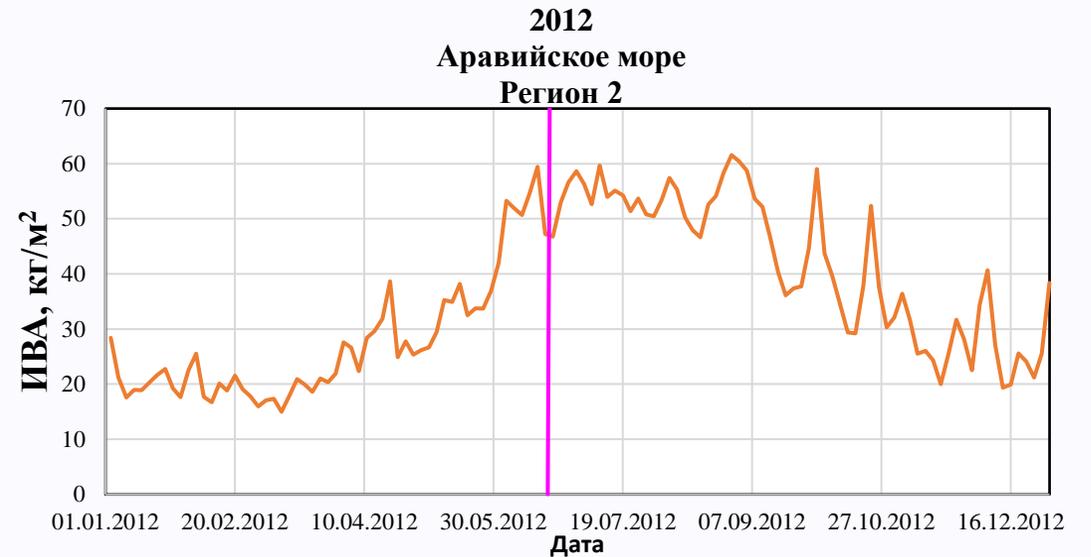
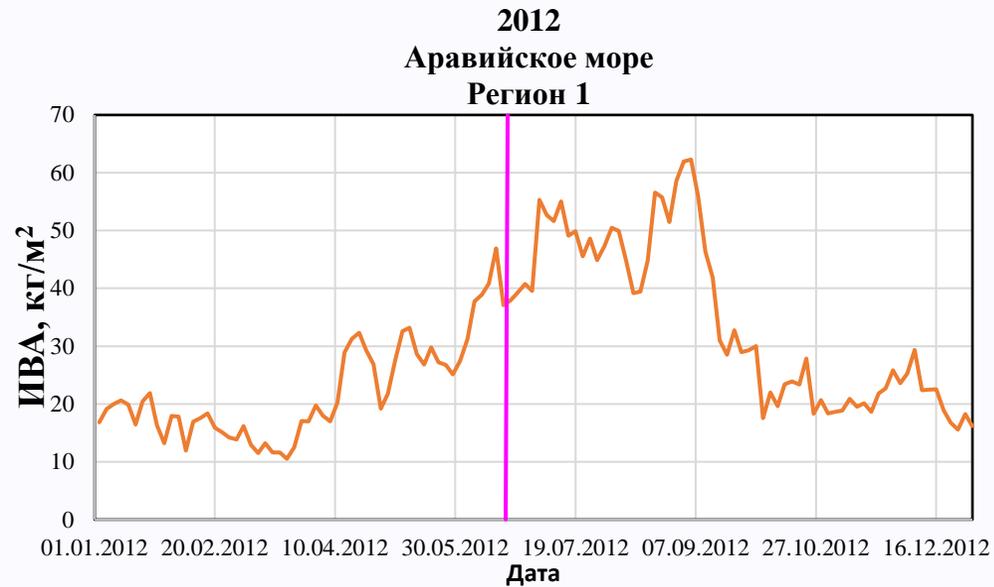


Диаграмма рассеяния PWV, восстановленного по данным SSMIS F16, и PWV по данным реанализа ECMWF Era 5 за 2020 год над всем Земным шаром

Содержание ИВА для регионов 1, 2, 3, 7 для 2012 г.



Корреляционная матрица для регионов 1-11 за период 2012-2023 гг.

Корреляционная матрица для регионов 1-11 за период 2012-2023

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	0,8539	0,6152	0,3037	0,6543	0,7744	0,9315	0,8747	0,8832	0,8593	0,8262
2	0,8539	1	0,7365	0,4534	0,7757	0,8222	0,7822	0,7492	0,794	0,8177	0,8206
3	0,6152	0,7365	1	0,5993	0,7414	0,7159	0,587	0,5842	0,6145	0,6515	0,691
4	0,3037	0,4534	0,5993	1	0,6474	0,4478	0,2695	0,2679	0,2767	0,3122	0,3674
5	0,6543	0,7757	0,7414	0,6474	1	0,8801	0,6149	0,6014	0,6472	0,6937	0,7285
6	0,7744	0,8222	0,7159	0,4478	0,8801	1	0,76	0,751	0,7957	0,8479	0,8955
7	0,9315	0,7822	0,587	0,2695	0,6149	0,76	1	0,9646	0,9441	0,8902	0,8458
8	0,8747	0,7492	0,5842	0,2679	0,6014	0,751	0,9646	1	0,9521	0,8954	0,8533
9	0,8832	0,794	0,6145	0,2767	0,6472	0,7957	0,9441	0,9521	1	0,9652	0,9037
10	0,8593	0,8177	0,6515	0,3122	0,6937	0,8479	0,8902	0,8954	0,9652	1	0,9636
11	0,8262	0,8206	0,691	0,3674	0,7285	0,8955	0,8458	0,8533	0,9037	0,9636	1

0,8539	высокая корреляция, но регионы соседние
0,7744	высокая корреляция, регионы не граничат

0,7–0,9 — высокая
0,9–0,99 — весьма высокая

Корреляционная матрица для регионов 1-11 для 2013 г.

Корреляционная матрица для регионов 1-11 за 2013 г.											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	0,8982	0,6683	0,2936	0,6955	0,8003	0,9371	0,8947	0,9084	0,9009	0,8785
2	0,8982	1	0,8302	0,4253	0,7748	0,8504	0,8335	0,8128	0,8678	0,8984	0,8965
3	0,6683	0,8302	1	0,6948	0,7377	0,7138	0,5948	0,5936	0,6315	0,6853	0,7318
4	0,2936	0,4253	0,6948	1	0,6062	0,4816	0,2183	0,2196	0,2329	0,2894	0,387
5	0,6955	0,7748	0,7377	0,6062	1	0,9154	0,6444	0,6122	0,6422	0,675	0,7192
6	0,8003	0,8504	0,7138	0,4816	0,9154	1	0,7727	0,7462	0,7844	0,8193	0,8627
7	0,9371	0,8335	0,5948	0,2183	0,6444	0,7727	1	0,9741	0,9636	0,9234	0,8765
8	0,8947	0,8128	0,5936	0,2196	0,6122	0,7462	0,9741	1	0,963	0,9142	0,8684
9	0,9084	0,8678	0,6315	0,2329	0,6422	0,7844	0,9636	0,963	1	0,974	0,9178
10	0,9009	0,8984	0,6853	0,2894	0,675	0,8193	0,9234	0,9142	0,974	1	0,9676
11	0,8785	0,8965	0,7318	0,387	0,7192	0,8627	0,8765	0,8684	0,9178	0,9676	1

0,8371	высокая корреляция, но регионы соседние
0,767	высокая корреляция, регионы не граничат

0,7–0,9 — высокая
0,9–0,99 — весьма высокая

Свёртка 2х сигналов для регионов 1-2, 1-3, 2-3, 1-7 для 2012 г.

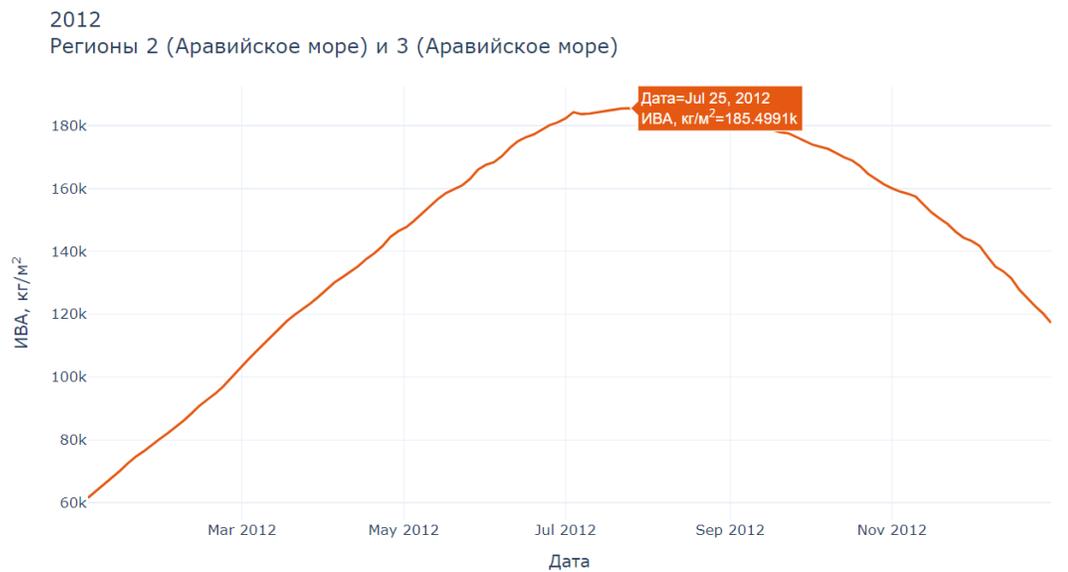
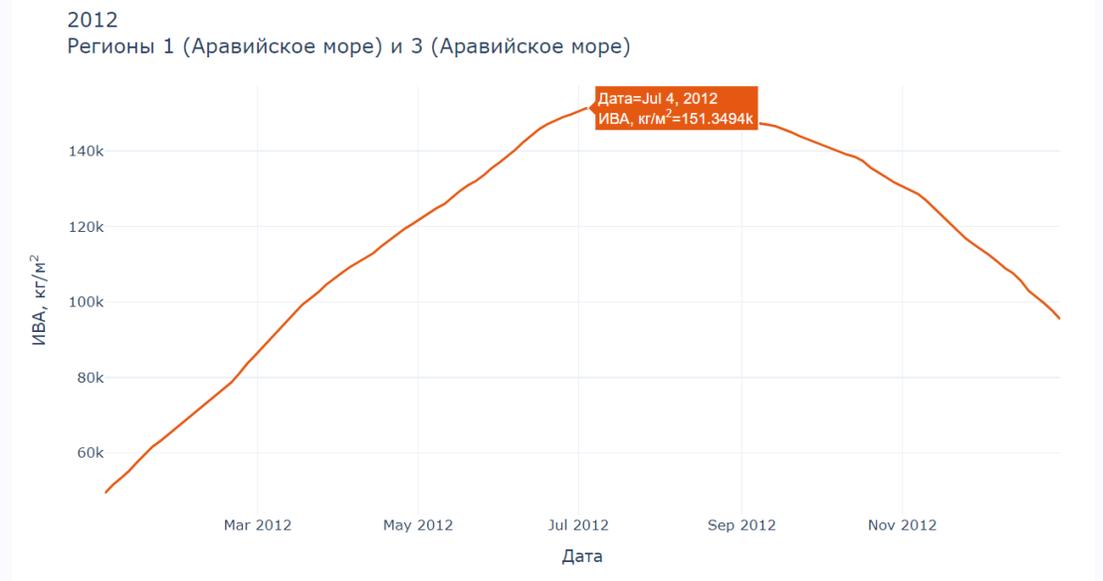
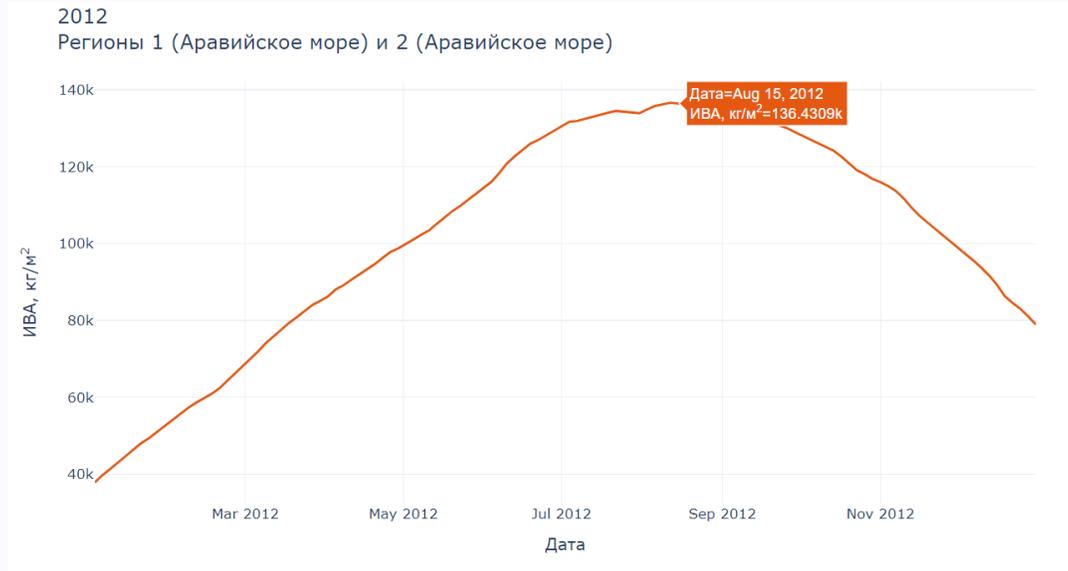
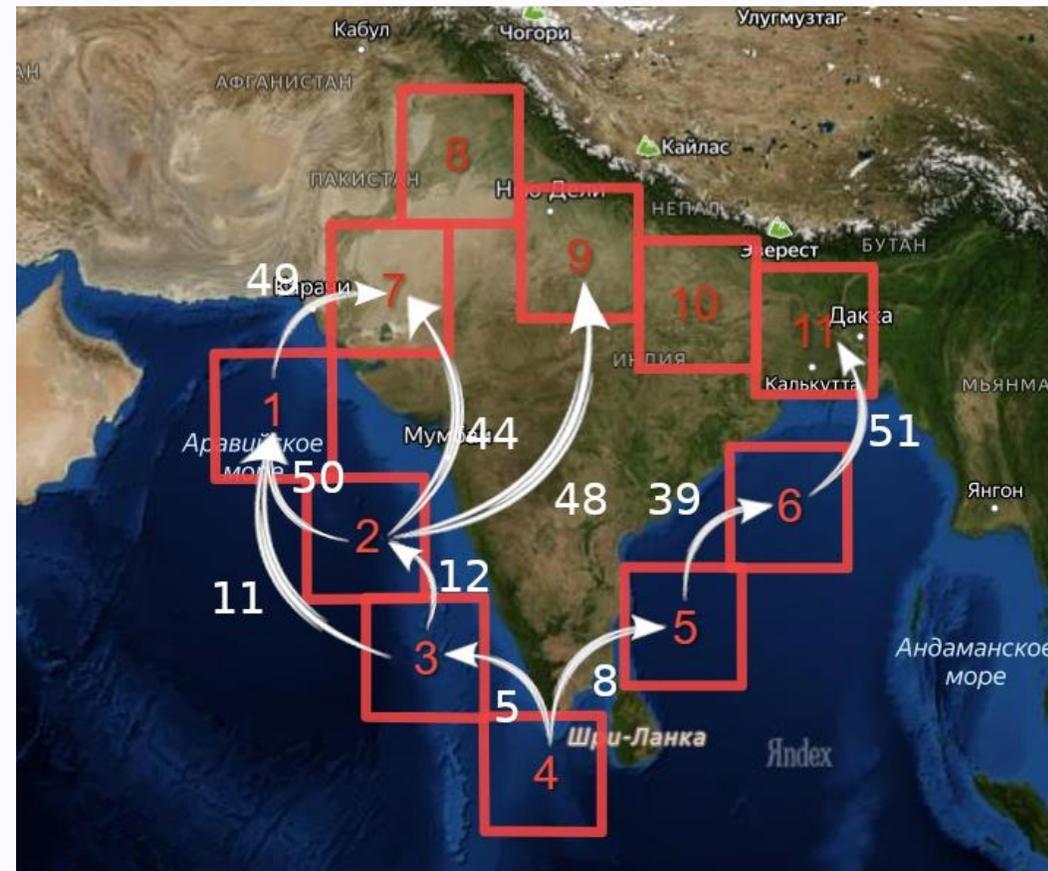
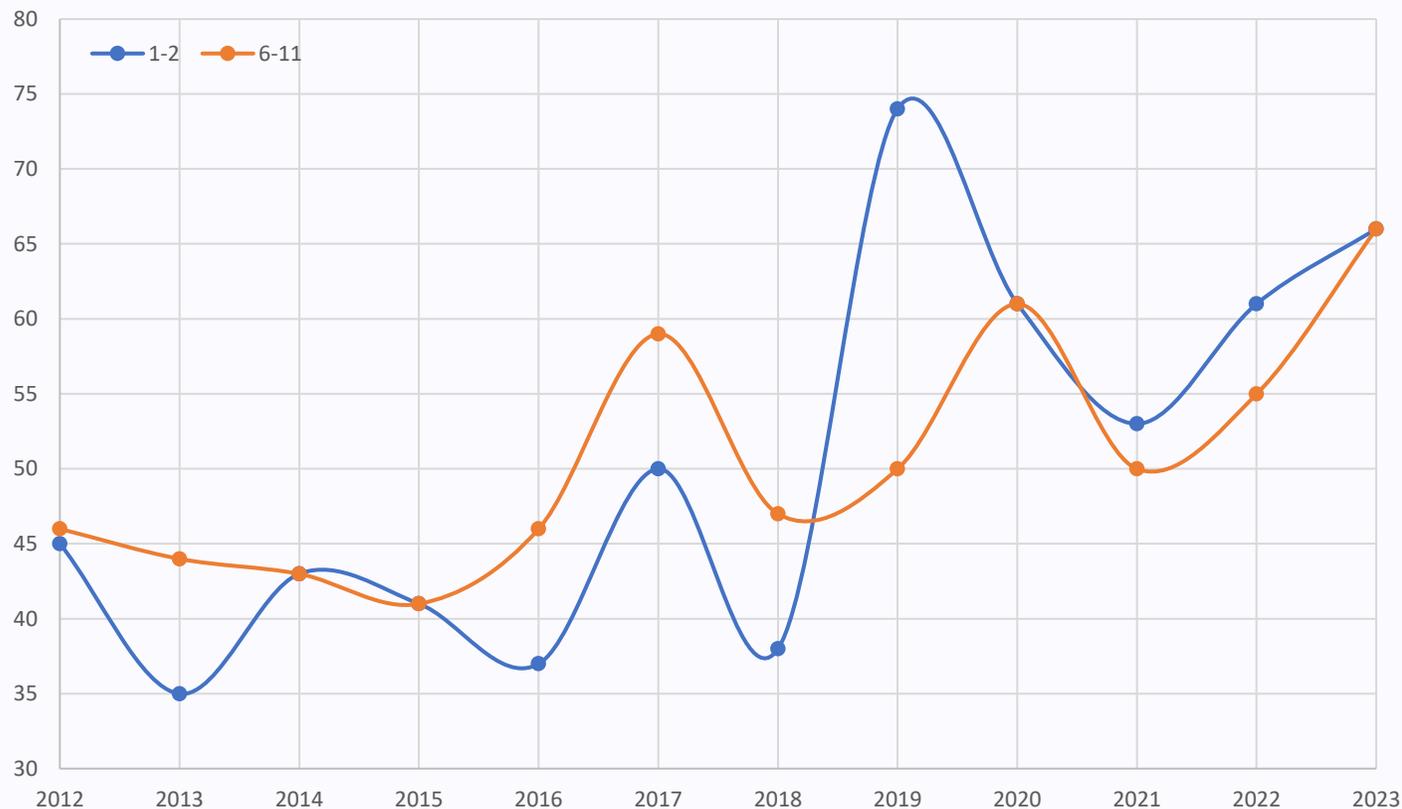


Таблица зависимости запаздывания ИВА от года (днях)

	1-2	1-3	1-7	2-3	2-7	2-9	3-4	4-5	5-6	6-11
2012	45	4	70	25	49	46	4	4	34	46
2013	35	5	23	5	29	32	5	5	23	44
2014	43	5	44	5	44	41	5	5	5	43
2015	41	8	38	11	23	35	5	5	62	41
2016	37	7	37	10	37	37	4	4	46	46
2017	50	20	50	23	50	47	5	5	62	59
2018	38	8	50	11	38	44	5	5	41	47
2019	74	50	62	35	56	65	14	17	53	50
2020	61	7	61	4	58	58	4	4	64	61
2021	53	2	47	2	47	50	2	29	2	50
2022	61	4	67	4	61	64	4	4	4	55
2023	66	6	36	6	39	60	3	3	69	66
Среднее значение (день)	50	11	49	12	44	48	5	8	39	51

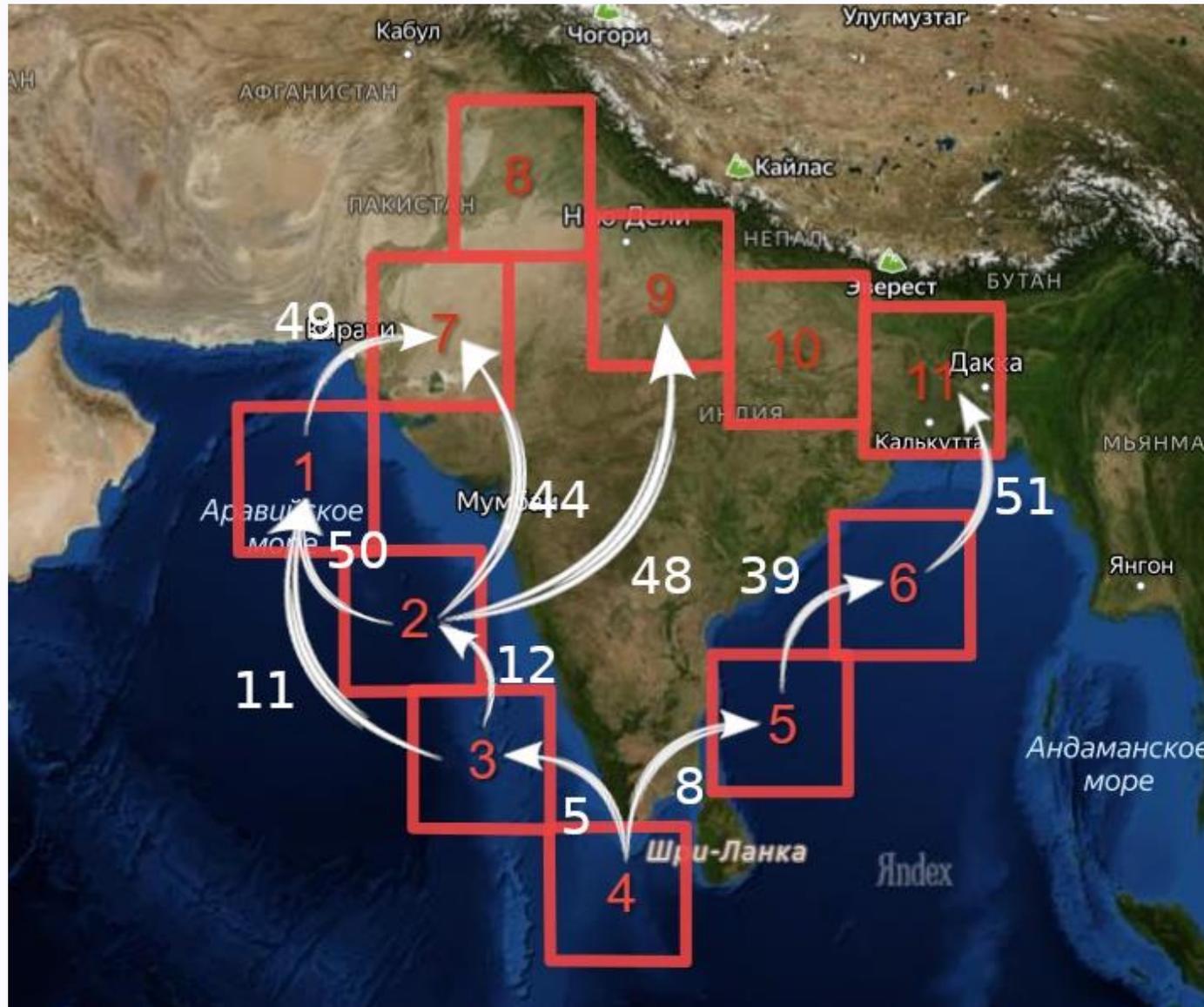
Зависимость запаздывания от года для регионов 1-2 и 6-11

Зависимость запаздывания от года для регионов 1-2 и 6-11



Районы исследования

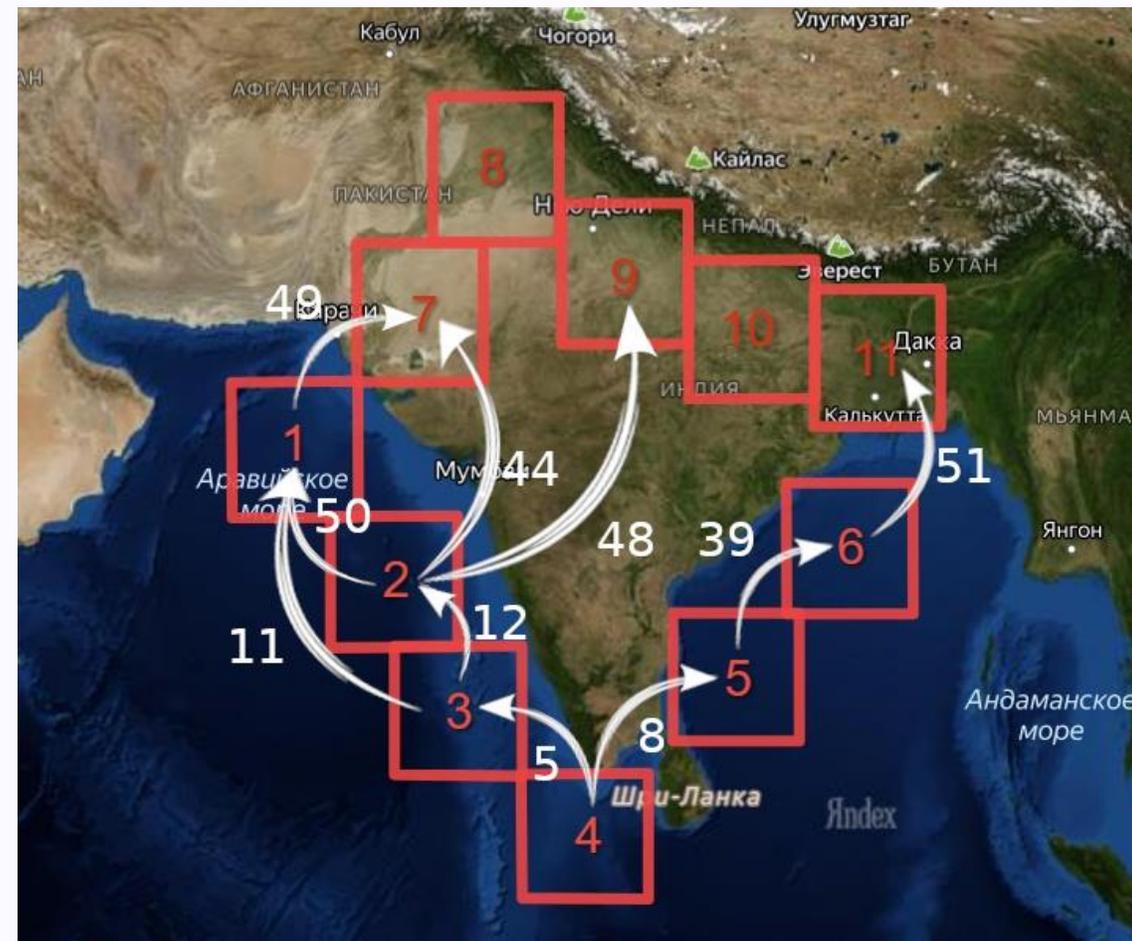
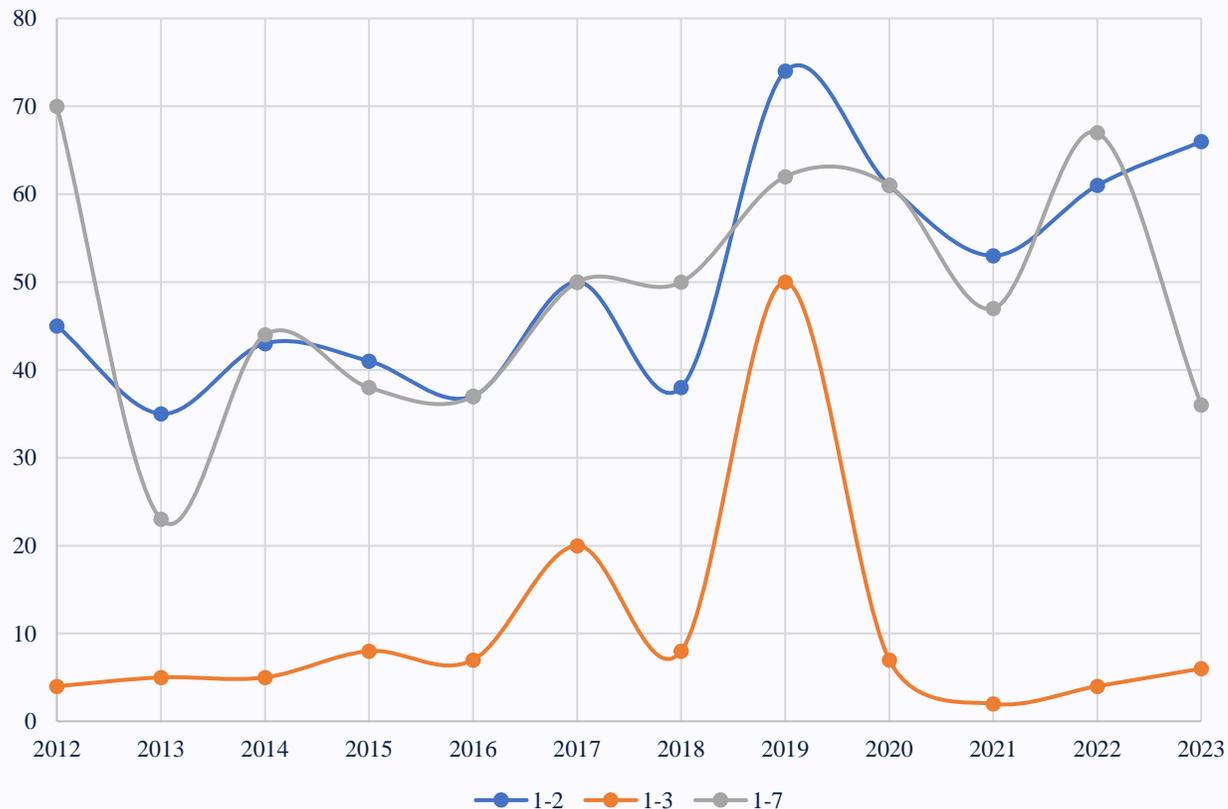
Среднее запаздывание для 10 пар



Районы исследования

Среднее запаздывание для регионов 1-2, 1-3, 1-7

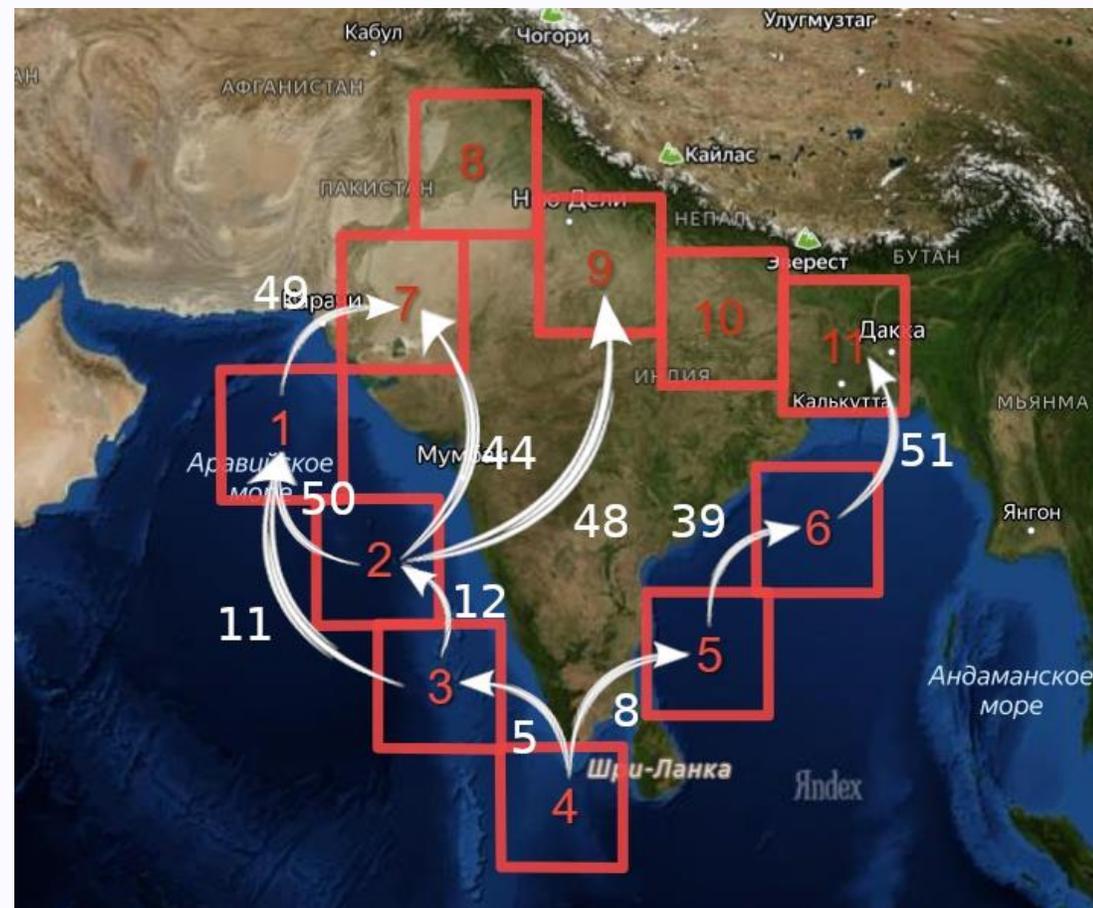
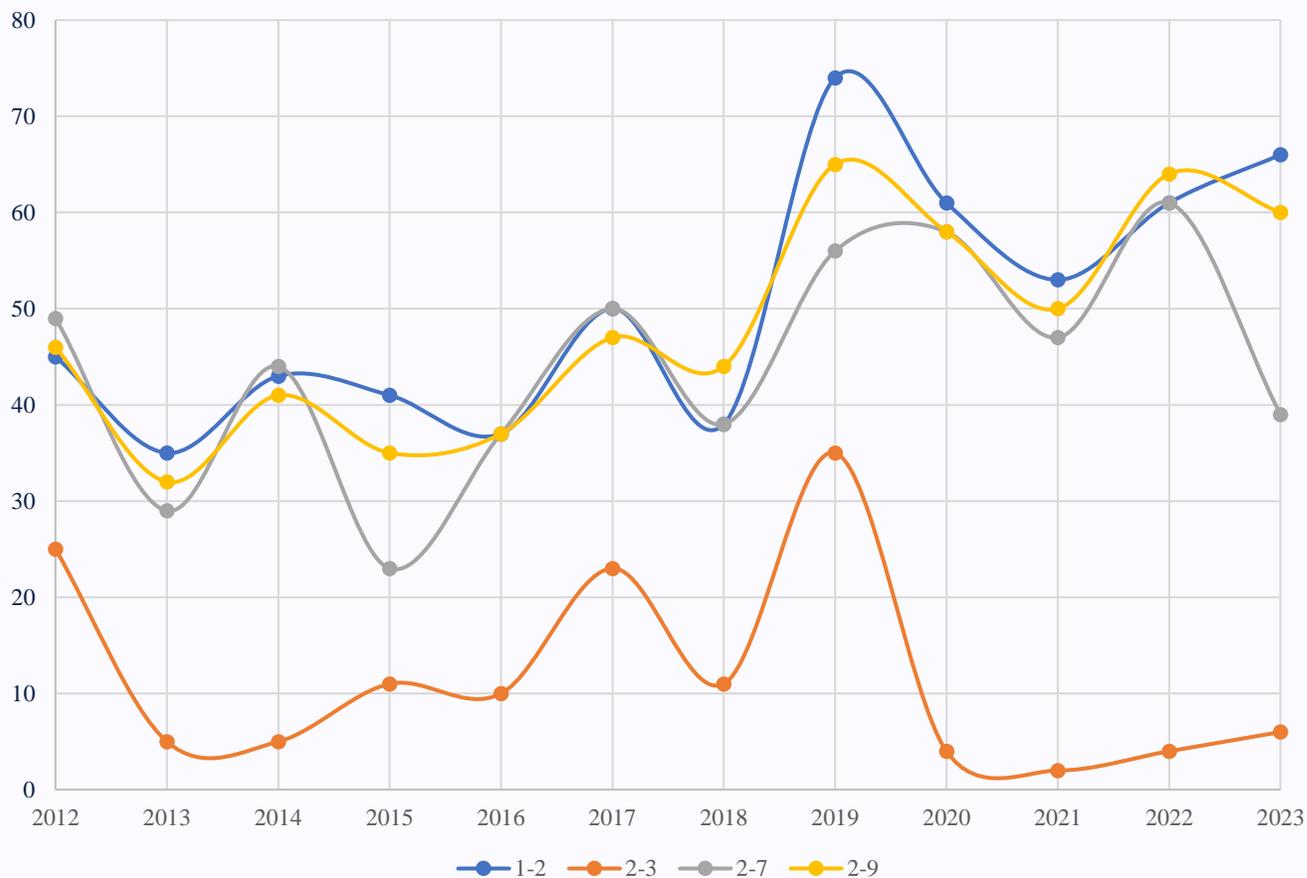
Зависимость запаздывания от года для регионов 1-2, 1-3, 1-7



Районы исследования

Среднее запаздывание для регионов 1-2, 2-3, 2-7, 2-9

Зависимость запаздывания от года для регионов
1-2, 2-3, 2-7, 2-9



Районы исследования

Заключение

- В результате работы была выявлена высокая корреляция не только среди соседних регионов, но и среди тех, которые не граничат между собой.
- Определено запаздывание ИВА для каждого года и среднее за период 2012-2023 гг. для 10 пар.
- С 2018 года запаздывание резко увеличилось для регионов 1-2, 1-3, 1-7, 2-3, 2-7, 2-9, что влияет на сельскохозяйственное планирование и требует адаптации стратегий в условиях изменения климата.
- Продемонстрирована перспективность предложенного подхода к изучению Индийского муссона и разработке алгоритмов прогнозирования его параметров по данным радиотепловых спутниковых наблюдений. Предстоит дальнейшая работа по завершению обобщающего анализа статистики по всем регионам и годам наблюдений.

Спасибо за внимание!