



# Методические вопросы оценки формирования пожароопасной обстановки на земной поверхности на основе спутниковых данных

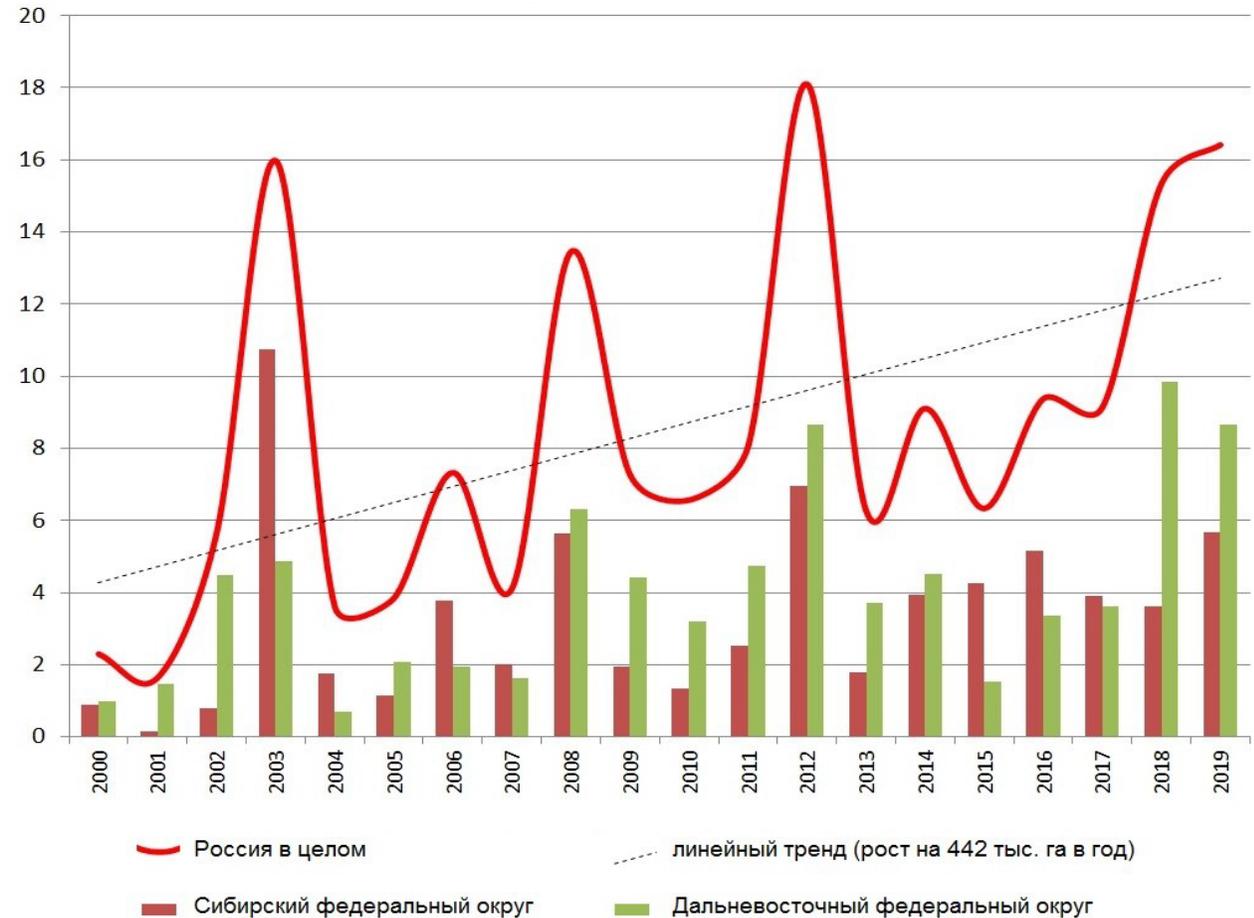
Смирнов А.А., Токарева О.С.

Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет  
2022

# Актуальность исследования

Из доклада МЧС следует, что в период пожароопасного сезона 2019 г., на основании полученной оперативной информации по данным ДЗЗ, в России было выявлено более **180 тыс.** очагов природных пожаров, которые несли угрозу свыше, чем **18 тыс.** населенных пунктов. Ежедневно, до 4-х раз в сутки, проводились прием и обработка космической информации по всей территории России. Уже через один час после приема информация о местонахождении очагов и их характеристиках передавалась в территориальные органы управления РСЧС.

Важным является обнаружение территорий, на которых формируются условия, благоприятные для возникновения лесных пожаров. Актуальным является поиск новых и улучшение существующих методик оценки пожароопасной обстановки на земной поверхности на основе спутниковых данных, что позволило бы повысить эффективность прогнозирования и обнаружения лесных пожаров.



Динамика площадей лесных пожаров по данным системы ИСДМ-Рослесхоз за 2000-2019 годы, млн. га

# Цель и задачи

**Цель работы** — разработка методических вопросов оценки формирования пожароопасной обстановки на земной поверхности с использованием космических снимков (КС).

## **Задачи:**

- рассмотреть факторы формирования пожароопасной обстановки
- изучить методы оценки пожароопасной обстановки и индексы, оценивающие состояние растительности
- выбрать необходимые для анализа параметры
- выбрать тестовые участки и найти средства, предоставляющие доступ к данным КС
- провести анализ полученных данных о температуре воздуха, земли, количестве осадков и значений индексов влажности, вегетации и Нестерова
- оценить формирование пожароопасной обстановки на тестовых участках

# Мониторинг пожароопасной обстановки

## Мониторинг пожарной безопасности

**Контроль** и регулярные длительные **наблюдения** в пространстве и времени за:

- показателями обстановки с пожарами
- факторами, обуславливающими формирование и развитие пожарных и экологических рисков
- своевременной разработкой и реализацией мероприятий по снижению риска пожаров
- эффективностью проводимых по определенной программе профилактических мероприятий по снижению риска пожаров и наносимого ими материального и экологического ущерба

## Объекты мониторинга

- Предпожарная обстановка
- прогнозирование лесных пожаров и чрезвычайных лесопожарных ситуаций
- лесной пожар, являющийся источником поражающих факторов и вероятным источником ЧС
- послепожарная обстановка

## Контролируемые параметры

- Температура воздуха
- температура точки росы
- количество осадков
- информация о наличии грозовой деятельности
- скорость и направление ветра

Критерием наступления высокой пожарной опасности служат соответствующие значения комплексного показателя пожарной опасности в лесу по условиям погоды.

# Факторы возникновения пожаров

## Природные

- Удары молний
- самовозгорание каменного угля, торфа или лесной подстилки
- извержения вулканов
- падения метеоритов

## Антропогенные

- Неосторожное обращение с огнем
- употребление пыжей из легковоспламеняющихся материалов
- нарушение правил пожарной безопасности при заготовке леса
- неконтролируемые сельхозпалы в весенний и осенний периоды
- разведение костров, сжигание мусора в непосредственной близости от деревьев, заготовленной древесины, на торфяниках
- оставление в лесу бутылок, осколков стекла, которые могут сработать как линзы при ярком солнечном свете

## Фактор, влияющие на возникновение

- Уровень осадков
- влажность воздуха
- температура воздуха
- направление и скорость ветра

# Методы оценки пожароопасной обстановки

При подсчете показателя потенциальной опасности возгорания леса учитываются метеорологические условия местности. Для оценки степени пожароопасности леса в зависимости от метеорологических условий используется **индекс горимости леса**, который является **комплексным показателем пожарной опасности** в лесу.

В России для оценки горимости леса применяют **индекс Нестерова G**:

$$G = \sum_{i=1}^n T_i d_i,$$
$$d_i = T_i - r_i, \text{ где}$$

T – температура воздуха (°C) на 12 ч дня по местному времени

r – точка росы на 12 ч дня по местному времени (°C)

d – дефицит точки росы;

n – число дней после последнего дождя

Суммирование начинается в первый сухой день после дождя и проводится по n дням. С каждым днем сухой погоды без осадков показатель G возрастает, пока не выпадут осадки **2,5 мм** или более, в таком случае показатель обнуляется и подсчет начинается заново.

Класс пожарной опасности по условиям погоды	Комплексный показатель (индекса горимости), (°C <sup>2</sup> ) × сут.	Пожарная опасность
I	0-300	Отсутствует
II	301-1000	Малая
III	1001-4000	Средняя
IV	4001-10 000	Высокая
V	> 10 000	Чрезвычайная

Шкала пожарной опасности в лесу по условиям погоды

# Индексы оценки состояния растительности

Характерным признаком растительности и ее состояния является **спектральная отражательная способность**, характеризующаяся большими различиями в отражении излучения разных длин волн. Знания о связи структуры и состояния растительности с ее спектрально-отражательными способностями позволяют использовать КС для оценки пожароопасности.

Для определения влагосодержания в растениях во всем мире широко распространены индексы Canopy Water Content:

- **NDWI** (Normalized Difference Water Index):

$$NDWI = \frac{p_{560} - p_{835}}{p_{560} + p_{835}} \quad [-0,8 ; 0,8]$$

Использует зеленый и ближний инфракрасные диапазоны, т.к. водные объекты сильно поглощают свет в видимом и инфракрасном электромагнитном спектре. Значения  $>0,5$  относятся к водным объектам,  $0-0,2$  относятся к застройкам, а значения  $<0$  относятся, как правило, к растительности.

- **NDMI** (Normalized Difference Moisture Index):

$$NDMI = \frac{p_{819} - p_{1599}}{p_{819} + p_{1599}} \quad [-1 ; 1]$$

Значения от  $-1$  до  $-0,2$  обычно соответствуют бесплодной почве, а значения растительности могут варьироваться от  $-0,2$  до  $1$ , причем значения индекса от  $-0,2$  до  $0,4$  обычно соответствуют водному стрессу растений.

- **NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index):

$$NDVI = \frac{p_{835} - p_{665}}{p_{835} + p_{665}} \quad [-1 ; 1]$$

Значения от  $-1$  до  $-0,1$  относятся к воде, от  $-0,1$  до  $0,1$  обычно относятся к скалам, песку и снегу, от  $0,2$  до  $0,4$  обычно идентифицируются, как кустарники и пастбища, от  $0,4$  до  $1$  соответствуют лесам.

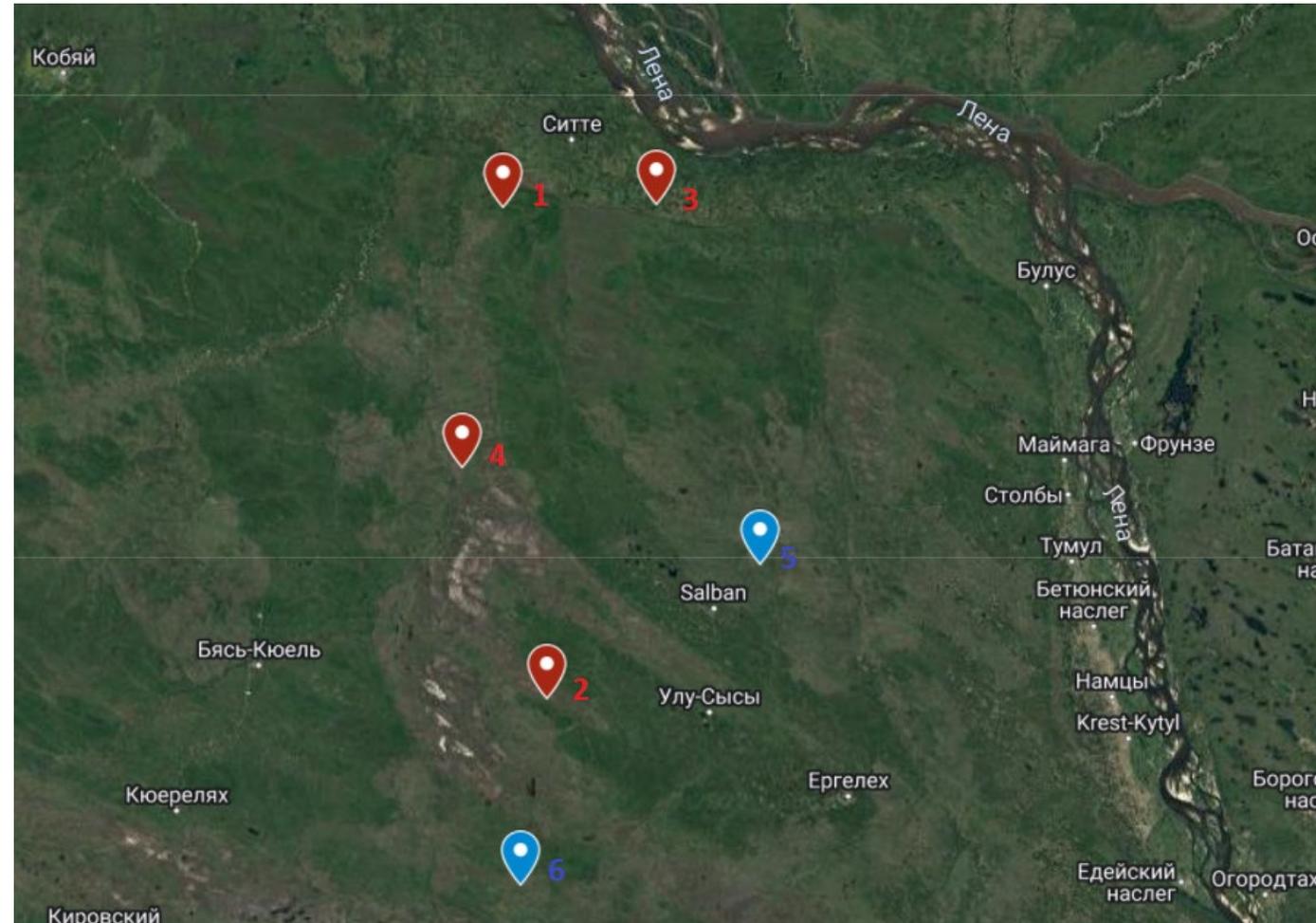
# Объект исследования

Для анализа предпожарной обстановки были рассмотрены показатели областей РФ, на которых происходили лесные пожары летом 2021 года, на протяжении месяца до появления очагов возгорания.

Для исследования требовалось сопоставить места пожаров и имеющиеся спутниковые снимки по данным критериям:

- охватывает область пожара
- отсутствует облачность над очагом пожара
- регулярность съемки на протяжении месяца до пожара

Были выбраны четыре очага возгорания и два фоновых участка в Кобяйском, Горном и Намском улусах, Республика Саха (Якутия).



Точки возгорания (красные) и фоновые точки (синие)

# Используемые сервисы

Для разработки методических вопросов оценки формирования пожароопасной обстановки использовались временные ряды архивных КС, позволяющих проследить обстановку на местности до возникновения пожара.

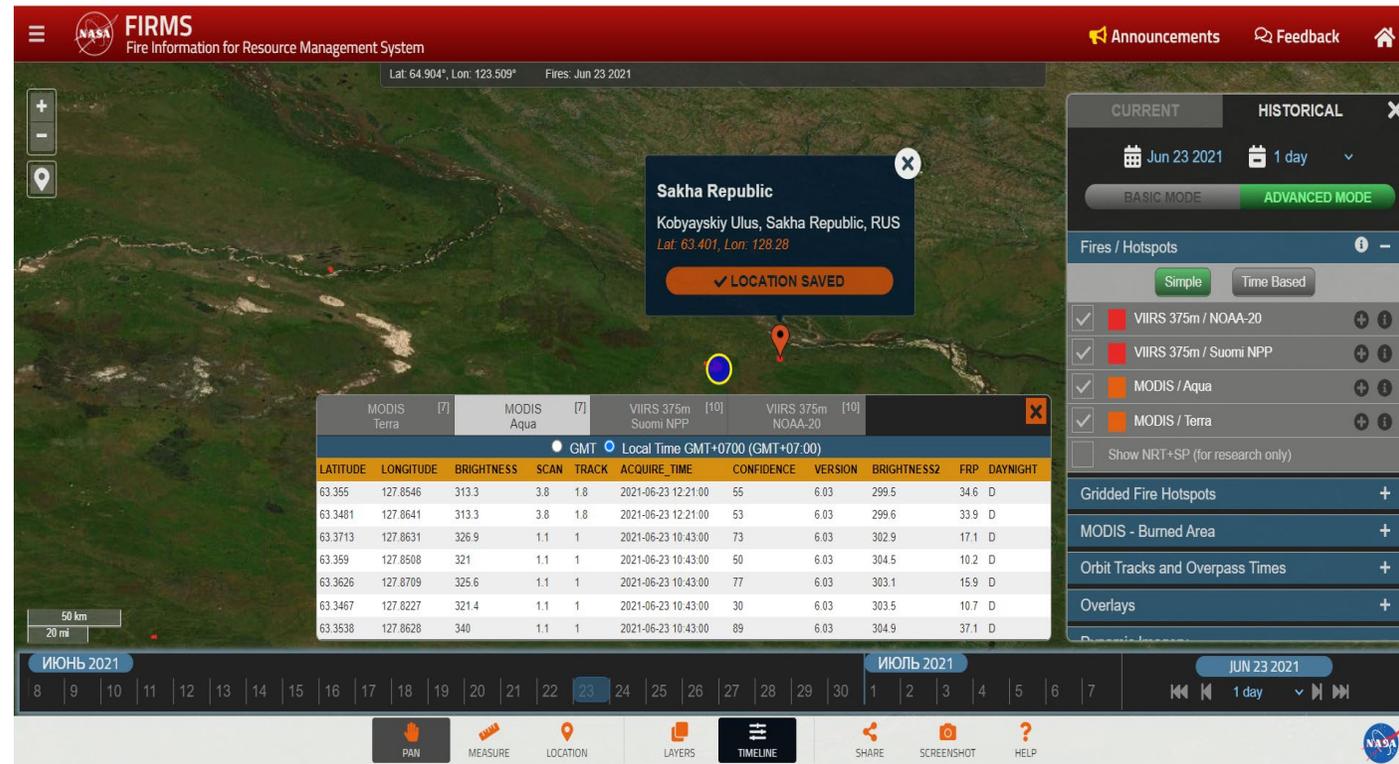
Для поиска пожаров была выбрана система мониторинга пожаров **NASA Fire Information for Resource Management System (FIRMS)**.

Для поиска доступных и действующих метеорологических станций был использован портал «**Действующие метеорологические станции сети Росгидромета**».

Для получения метеорологических данных был выбран Справочно-информационный портал «**Погода и климат**».

Для поиска КС, получения вегетационных индексов и температуры поверхности Земли был выбран сервис **Sentinel Hub EO Browser**.

Для анализа состава растительности был использован сервис Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) **BEGA-PRO**.



Поиск пожаров в NASA Fire Information for Resource Management System

# Данные дистанционного зондирования Земли

Для расчета вегетационных и водных индексов был выбран спутник **Sentinel-2**, т.к. имеет оптимальную периодичность съемки и необходимые спектральные каналы. Был выбран уровень обработки **Level-2A** (L2A), т.к. предоставляет данные, прошедшие радиометрическую, геометрическую и атмосферную коррекцию.

Для анализа температуры поверхности Земли был использован спутник **Landsat-8**, т.к. имеет преимущество в виде термальных каналов (TIRS 1 – TIRS 2). Был выбран уровень обработки **Level-1** (L1), т.к. предоставляет данные, прошедшие радиометрическую и геометрическую коррекцию.

Режим съемки	Канал	Спектральный диапазон, мкм	Периодичность съемки, сутки	Ширина полосы съемки, м	Пространственное разрешение, м
NIR	1	0,433 – 0,453	5 (на экваторе), 2-3 (в средних широтах)	290	60
	2	0,4575 – 0,5225			10
	3	0,5425 – 0,5775			10
	4	0,65 – 0,68			10
	5	0,6975 – 0,7125			20
	6	0,7325 – 0,7475			20
	7	0,773 – 0,793			20
	8	0,7845 – 0,8995			10
	8a	0,855 – 0,875			20
SWIR	9	0,935 – 0,955		60	
	10	1,36 – 1,39		60	
	11	1,565 – 1,655		20	
	12	2,1 – 2,28		20	

Основные технические характеристики съемочной аппаратуры Sentinel-2

# Список используемых снимков Sentinel-2

Область Дата снимка	UTM/WGS84						UTC, часы:минуты						Облачность, %					
	1	2	3	4	Фон 1	Фон 2	1	2	3	4	Фон 1	Фон 2	1	2	3	4	Фон 1	Фон 2
19.05.2021	-	52VDQ	-	52VDQ	-	52VDQ	-	03:10	-	03:10	-	03:10	-	63.6	-	63.6	-	63.6
22.05.2021	52VDR	52VDQ	52VDR	52VDQ	52VDQ	52VDQ	03:10	03:10	03:10	03:10	03:10	03:10	12.8	8.5	12.8	8.5	8.5	8.5
29.05.2021	52VDR	52VDQ	52VDR	52VDQ	52VDQ	52VDQ	03:10	03:10	03:10	03:10	03:10	03:10	29.6	49.6	29.6	49.6	49.6	49.6
03.06.2021	52VDR	52VDQ	52VDR	52VDQ	52VDQ	52VDQ	03:10	03:10	03:10	03:10	03:10	03:10	24.3	3.2	24.3	3.2	3.2	3.2
08.06.2021	52VDR	52VDQ	52VDR	52VDQ	52VDQ	52VDQ	03:10	03:10	03:10	03:10	03:10	03:10	41.5	7.7	41.5	7.7	7.7	7.7
11.06.2021	52VDR	52VDQ	52VDR	52VDQ	52VDQ	52VDQ	03:10	03:10	03:10	03:10	03:10	03:10	0	0	0	0	0	0
14.06.2021	52VDR	-	-	52VDR	-	-	03:19	-	-	03:19	-	-	40.3	-	-	40.3	-	-
16.06.2021	52VDR	52VDQ	52VDR	52VDQ	52VDQ	52VDQ	03:10	03:10	03:10	03:10	03:10	03:10	3.4	12.3	3.4	12.3	12.3	12.3
19.06.2021	52VDR	-	-	52VDR	-	-	03:19	-	-	03:19	-	-	9.2	-	-	9.2	-	-
21.06.2021	-	52VDQ	52VDR	52VDQ	52VDQ	52VDQ	-	03:10	03:10	03:10	03:10	03:10	-	0	1.1	0	0	0
23.06.2021	-	-	-	52VDQ	52VDQ	52VDQ	-	-	-	03:00	03:00	03:00	-	-	-	11.7	11.7	11.7
24.06.2021	-	-	-	52VDR	-	-	-	-	-	03:19	-	-	-	-	-	47.3	-	-

# Список используемых снимков Landsat-8

	Path/Row						UTC, часы:минуты						Облачность, %					
Области Дата снимка	1	2	3	4	Фон 1	Фон 2	1	2	3	4	Фон 1	Фон 2	1	2	3	4	Фон 1	Фон 2
03.06.2021	123/016						02:46						8.6					
10.06.2021	124/016	-	124/016	124/016	-	-	02:53	-	02:53	02:53	-	-	0	-	0	0	-	-
19.06.2021	123/016						02:47						4.9					

# Индексы за период 19.05.21-24.06.21

Область Дата	1			2			3			4			5			6		
	NDMI	NDWI	NDVI	NDMI	NDWI	NDVI												
19.05.2021	-	-	-	-0,1	-0,57	0,46	-	-	-	0	-0,38	0,34	-	-	-	0,06	-0,35	0,33
20.05.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21.05.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22.05.2021	-0,02	-0,57	0,49	-0,13	-0,55	0,44	-0,19	-0,5	0,35	-0,14	-0,48	0,4	-0,01	-0,59	0,57	0	-0,59	0,58
23.05.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24.05.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25.05.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26.05.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27.05.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28.05.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29.05.2021	0,01	-0,56	0,61	-0,04	-0,12	0,13	-0,07	-0,4	0,39	-0,16	-0,47	0,43	0,04	-0,25	0,28	0,18	-0,53	0,66
30.05.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31.05.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
01.06.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02.06.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03.06.2021	0,09	-0,42	0,5	-0,04	-0,54	0,56	0	-0,52	0,53	-0,1	-0,48	0,48	0,17	-0,56	0,69	0,16	-0,58	0,72
04.06.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
05.06.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06.06.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07.06.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08.06.2021	0,12	-0,6	0,71	0	-0,58	0,63	0,1	-0,51	0,58	-0,08	-0,52	0,54	0,23	-0,62	0,76	0,16	-0,62	0,75
09.06.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10.06.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.06.2021	0,12	-0,64	0,73	0,01	-0,6	0,65	0,05	-0,61	0,65	-0,07	-0,55	0,57	0,19	-0,65	0,79	0,16	-0,64	0,78
12.06.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13.06.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14.06.2021	0,13	-0,64	0,75	-	-	-	-	-	-	-0,02	-0,5	0,54	-	-	-	-	-	-
15.06.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16.06.2021	0,15	-0,63	0,73	0,05	-0,59	0,65	0,11	-0,62	0,68	-0,03	-0,55	0,58	0,2	-0,6	0,72	0,18	-0,63	0,76
17.06.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18.06.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19.06.2021	0,14	-0,6	0,72	-	-	-	-	-	-	-0,02	-0,53	0,57	-	-	-	-	-	-
20.06.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21.06.2021	-	-	-	0,04	-0,56	0,64	0,12	-0,61	0,7	-0,03	-0,51	0,56	0,19	-0,59	0,74	0,17	-0,47	0,61
22.06.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23.06.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,01	-0,5	0,55	0,19	-0,57	0,71	0,18	-0,55	0,69
24.06.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,13	-0,35	0,41	-	-	-	-	-	-

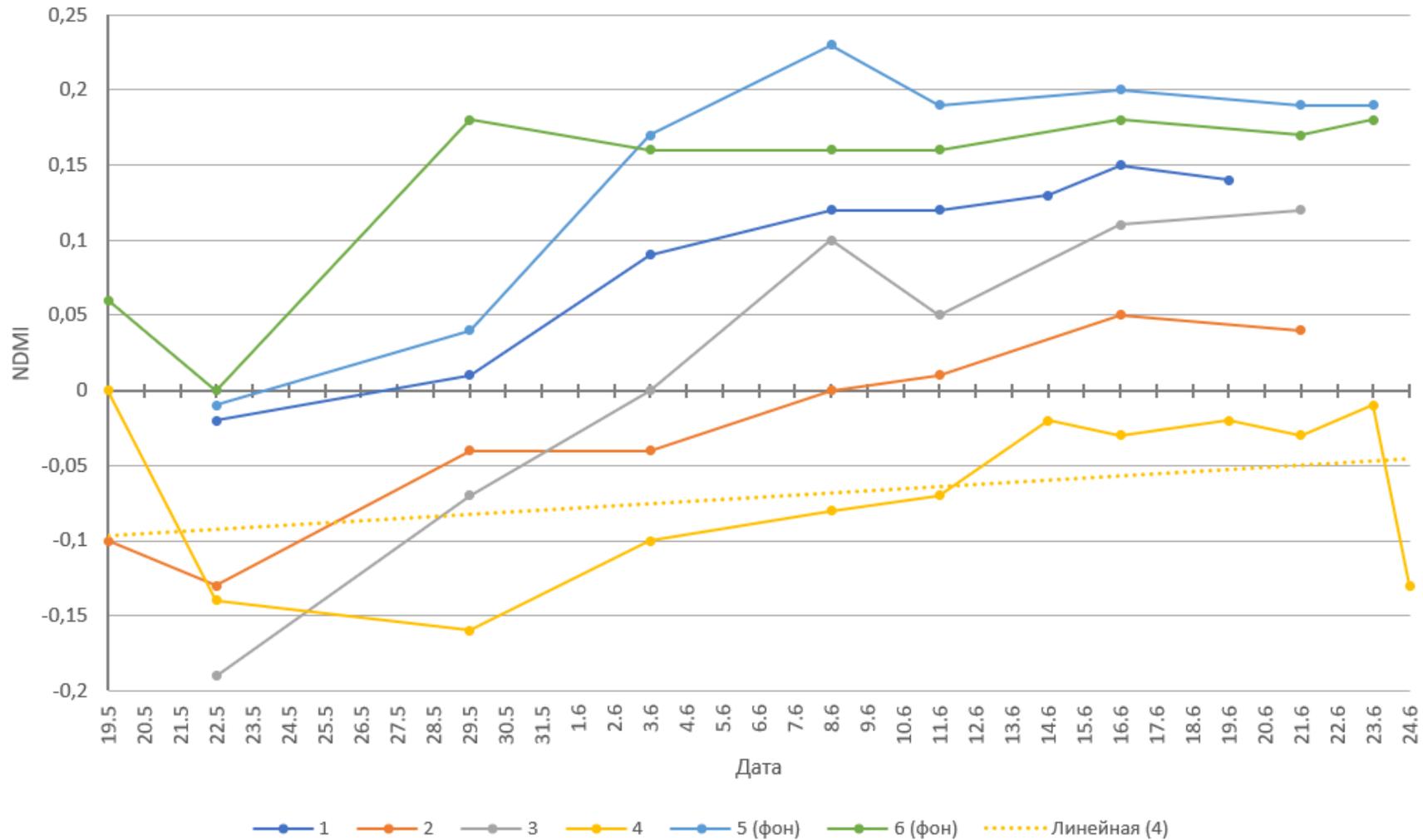
# Показатели температуры воздуха, поверхности земли и уровня осадков за период 19.05.21-24.06.21

Область Дата	1			2			3			4			5			6		
	T <sub>п</sub> , °C	T <sub>в</sub> , °C	W, мм	T <sub>п</sub> , °C	T <sub>в</sub> , °C	W, мм	T <sub>п</sub> , °C	T <sub>в</sub> , °C	W, мм	T <sub>п</sub> , °C	T <sub>в</sub> , °C	W, мм	T <sub>п</sub> , °C	T <sub>в</sub> , °C	W, мм	T <sub>п</sub> , °C	T <sub>в</sub> , °C	W, мм
19.05.2021	-	8,2	0	-	7,6	0	-	8,2	0	-	7,6	0	-	9,3	0	-	7,6	0
20.05.2021	-	10,5	0	-	9,8	0	-	10,5	0	-	9,8	0	-	11,8	0	-	9,8	0
21.05.2021	-	11,2	0	-	11,5	0	-	11,2	0	-	11,5	0	-	13,5	0	-	11,5	0
22.05.2021	-	9,5	0	-	10,4	0	-	9,5	0	-	10,4	0	-	13,6	0	-	10,4	0
23.05.2021	-	10,1	0	-	11,3	0	-	10,1	0	-	11,3	0	-	14,3	0	-	11,3	0
24.05.2021	-	18,9	0	-	13,3	0,5	-	18,9	0	-	13,3	0,5	-	14,4	0,1	-	13,3	0,5
25.05.2021	-	17	0	-	13,8	0	-	17	0	-	13,8	0	-	17,9	1	-	13,8	0
26.05.2021	-	21,1	2	-	21	0	-	21,1	2	-	21	0	-	18,9	2	-	21	0
27.05.2021	-	16,3	0	-	17	0,3	-	16,3	0	-	17	0,3	-	18,4	0	-	17	0,3
28.05.2021	-	24,3	0	-	20,6	0	-	24,3	0	-	20,6	0	-	22,6	0	-	20,6	0
29.05.2021	-	23,5	1	-	23,7	0	-	23,5	1	-	23,7	0	-	25	1	-	23,7	0
30.05.2021	-	14,5	0	-	20,6	0,4	-	14,5	0	-	20,6	0,4	-	21,2	1	-	20,6	0,4
31.05.2021	-	20,8	0	-	21,6	0	-	20,8	0	-	21,6	0	-	19,9	0	-	21,6	0
01.06.2021	-	20	0	-	23	3	-	20	0	-	23	3	-	20	2	-	23	3
02.06.2021	-	23,2	0	-	22,8	0	-	23,2	0	-	22,8	0	-	24,6	0	-	22,8	0
03.06.2021	23,7	26,6	0	26,6	26,2	0	23,5	26,6	0	28,9	26,2	0	22	26,4	0	23,4	26,2	0
04.06.2021	-	30,6	0	-	29,8	0	-	30,6	0	-	29,8	0	-	30,6	0	-	29,8	0
05.06.2021	-	30,4	0	-	30,8	0	-	30,4	0	-	30,8	0	-	31	0	-	30,8	0
06.06.2021	-	16,4	3	-	15	0	-	16,4	3	-	15	0	-	18,4	0,6	-	15	0
07.06.2021	-	16,1	1	-	18,2	0,1	-	16,1	1	-	18,2	0,1	-	18,7	0	-	18,2	0,1
08.06.2021	-	21,4	3	-	25,2	2	-	21,4	3	-	25,2	2	-	23,6	5	-	25,2	2
09.06.2021	-	14,2	1	-	12,2	0	-	14,2	1	-	12,2	0	-	15,1	1	-	12,2	0
10.06.2021	18,6	19,1	0	-	19,8	0	18,8	19,1	0	23,3	19,8	0	-	20,3	0	17,5	19,8	0
11.06.2021	-	24,7	0,3	-	24,5	0	-	24,7	0,3	-	24,5	0	-	23,9	0	-	24,5	0
12.06.2021	-	18,5	0	-	17,7	0	-	18,5	0	-	17,7	0	-	20,5	0,8	-	17,7	0
13.06.2021	-	20,7	0	-	18	0	-	20,7	0	-	18	0	-	19,2	0,4	-	18	0
14.06.2021	-	25,2	0	-	21,7	0	-	25,2	0	-	21,7	0	-	23,4	0	-	21,7	0
15.06.2021	-	25,6	0	-	22,3	0	-	25,6	0	-	22,3	0	-	24,7	0	-	22,3	0
16.06.2021	-	24,7	0	-	25,6	0	-	24,7	0	-	25,6	0	-	29,5	0	-	25,6	0
17.06.2021	-	27,1	0	-	26,6	0	-	27,1	0	-	26,6	0	-	27,4	0	-	26,6	0
18.06.2021	-	30,3	0	-	26,2	0	-	30,3	0	-	26,2	0	-	29,5	0	-	26,2	0
19.06.2021	26	29	0	27,2	30,7	0	23,3	29	0	29,8	30,7	0	22,2	29,9	0	24,8	30,7	0
20.06.2021	-	30,5	0	-	32,6	0	-	30,5	0	-	32,6	0	-	31,9	0	-	32,6	0
21.06.2021	-	32,3	0	-	33,7	0	-	32,3	0	-	33,7	0	-	34,4	0	-	33,7	0
22.06.2021	-	34,5	0	-	35,6	0	-	34,5	0	-	35,6	0	-	33,8	0	-	35,6	0
23.06.2021	-	31,7	0	-	34,4	0	-	31,7	0	-	34,4	0	-	32	0	-	34,4	0
24.06.2021	-	29,4	0	-	30,5	3	-	29,4	0	-	30,5	3	-	27,9	0,3	-	30,5	3

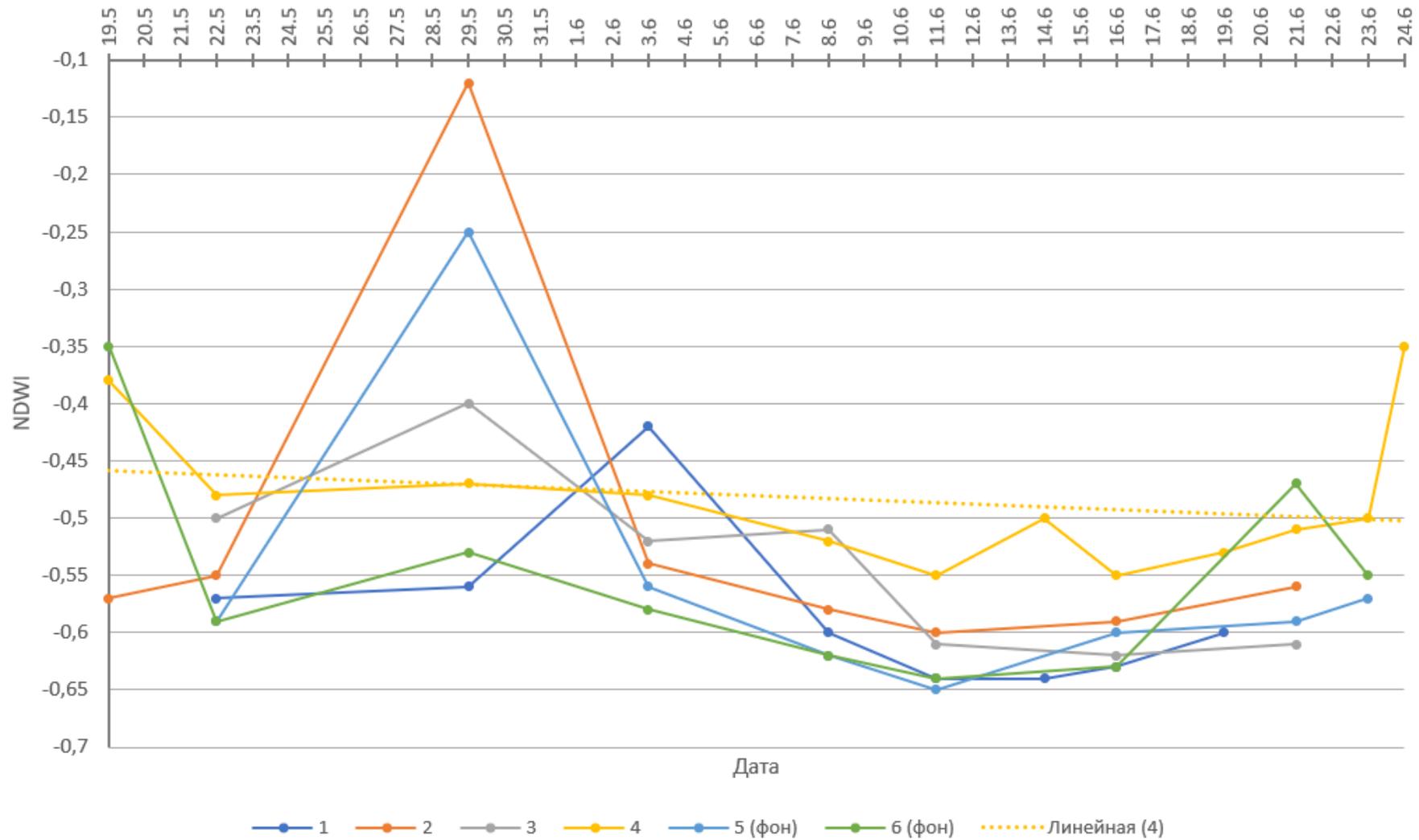
# Показатели температуры воздуха, температуры точки росы на 12.00 по местному времени и дефицита точки росы за период 02.06.21- 24.06.21

Область Дата	1			2			3			4			5			6		
	T <sub>B</sub> , °C	r, °C	d	T <sub>B</sub> , °C	r, °C	d	T <sub>B</sub> , °C	r, °C	d	T <sub>B</sub> , °C	r, °C	d	T <sub>B</sub> , °C	r, °C	d	T <sub>B</sub> , °C	r, °C	d
02.06.2021	15,4	6,6	8,8	19,8	-0,1	19,9	15,4	6,6	8,8	19,8	-0,1	19,9	22,1	3,8	18,3	19,8	-0,1	19,9
03.06.2021	22,2	10,1	12,1	21	11	10	22,2	10,1	12,1	21	11	10	22,2	8,1	14,1	21	11	10
04.06.2021	22,5	8,6	13,9	25,3	7,6	17,72	22,5	8,6	13,9	25,3	7,6	17,72	22	10,3	11,7	25,3	7,6	17,72
05.06.2021	12,6	9,2	3,4	25,7	3,5	22,2	12,6	9,2	3,4	25,7	3,5	22,2	26	4,6	21,4	25,7	3,5	22,2
06.06.2021	13,2	5,8	7,4	12,5	5,6	6,9	13,2	5,8	7,4	12,5	5,6	6,9	15,8	2,5	13,3	12,5	5,6	6,9
07.06.2021	14,9	1,1	13,8	16,4	-1,3	17,7	14,9	1,1	13,8	16,4	-1,3	17,7	17,7	-0,7	18,4	16,4	-1,3	17,7
08.06.2021	19	4,2	14,8	16,4	8,8	7,6	19	4,2	14,8	16,4	8,8	7,6	19,6	4,1	15,5	16,4	8,8	7,6
09.06.2021	11,3	3,4	7,9	9	4,7	4,3	11,3	3,4	7,9	9	4,7	4,3	11,5	4,6	6,9	9	4,7	4,3
10.06.2021	15,7	2,3	13,4	13	3,4	9,6	15,7	2,3	13,4	13	3,4	9,6	17,8	4	13,8	13	3,4	9,6
11.06.2021	20,7	3,9	16,8	17,7	4,2	13,5	20,7	3,9	16,8	17,7	4,2	13,5	20,3	5,6	14,7	17,7	4,2	13,5
12.06.2021	15,4	6,4	9	10,6	5,6	5	15,4	6,4	9	10,6	5,6	5	10	8,1	1,9	10,6	5,6	5
13.06.2021	19,2	5,3	13,9	16,2	5,1	11,1	19,2	5,3	13,9	16,2	5,1	11,1	16,3	4,1	12,2	16,2	5,1	11,1
14.06.2021	19,6	8,5	11,1	18,1	1,7	16,4	19,6	8,5	11,1	18,1	1,7	16,4	20	4,8	15,2	18,1	1,7	16,4
15.06.2021	16,9	10,3	6,6	20,6	3,4	17,2	16,9	10,3	6,6	20,6	3,4	17,2	21,7	6,7	15	20,6	3,4	17,2
16.06.2021	20,7	10	10,7	19,3	8,8	10,5	20,7	10	10,7	19,3	8,8	10,5	24,6	5,3	19,3	19,3	8,8	10,5
17.06.2021	23,8	12,5	11,3	22,2	6,6	15,6	23,8	12,5	11,3	22,2	6,6	15,6	23,6	8,9	14,7	22,2	6,6	15,6
18.06.2021	25,2	7,5	17,7	18,7	13,4	5,3	25,2	7,5	17,7	18,7	13,4	5,3	20,2	13,6	6,6	18,7	13,4	5,3
19.06.2021	26,6	11,8	14,8	22,7	14,8	7,9	26,6	11,8	14,8	22,7	14,8	7,9	26,2	6,2	20	22,7	14,8	7,9
20.06.2021	25	14,7	10,3	27,6	12,4	15,2	25	14,7	10,3	27,6	12,4	15,2	29,4	11,2	18,2	27,6	12,4	15,2
21.06.2021	27	16	11	29,3	9,8	19,5	27	16	11	29,3	9,8	19,5	30,8	12,1	18,7	29,3	9,8	19,5
22.06.2021	27,1	17,2	9,9	26	15,5	10,5	27,1	17,2	9,9	26	15,5	10,5	31	12,2	18,8	26	15,5	10,5
23.06.2021	22	15,3	6,7	23,4	12,6	10,8	22	15,3	6,7	23,4	12,6	10,8	26,8	12,5	14,3	23,4	12,6	10,8
24.06.2021	23,3	14,1	9,2	19,6	16,1	3,5	23,3	14,1	9,2	19,6	16,1	3,5	21,4	16,1	5,3	19,6	16,1	3,5

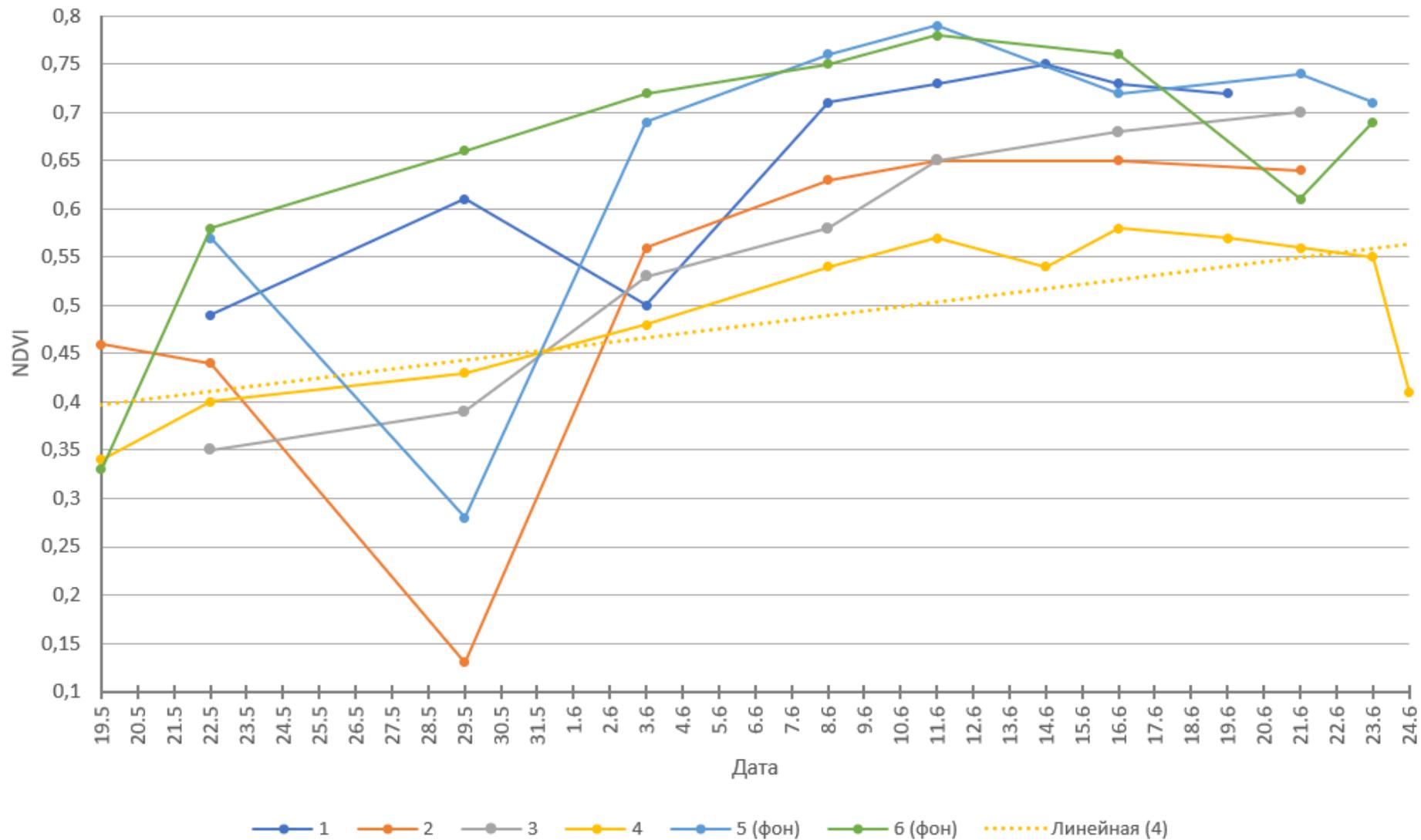
# График изменения NDMI



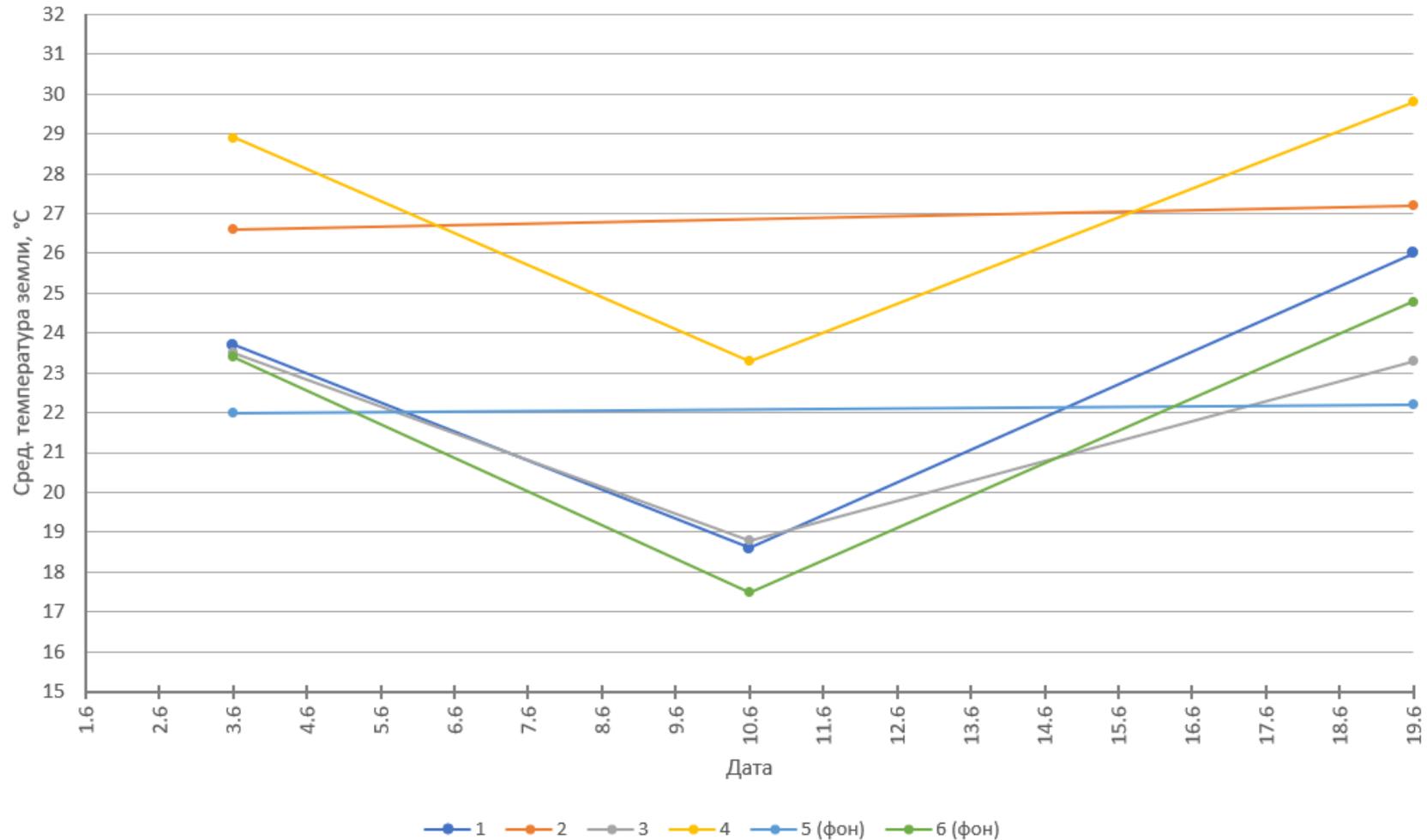
# График изменения NDWI



# График изменения NDVI



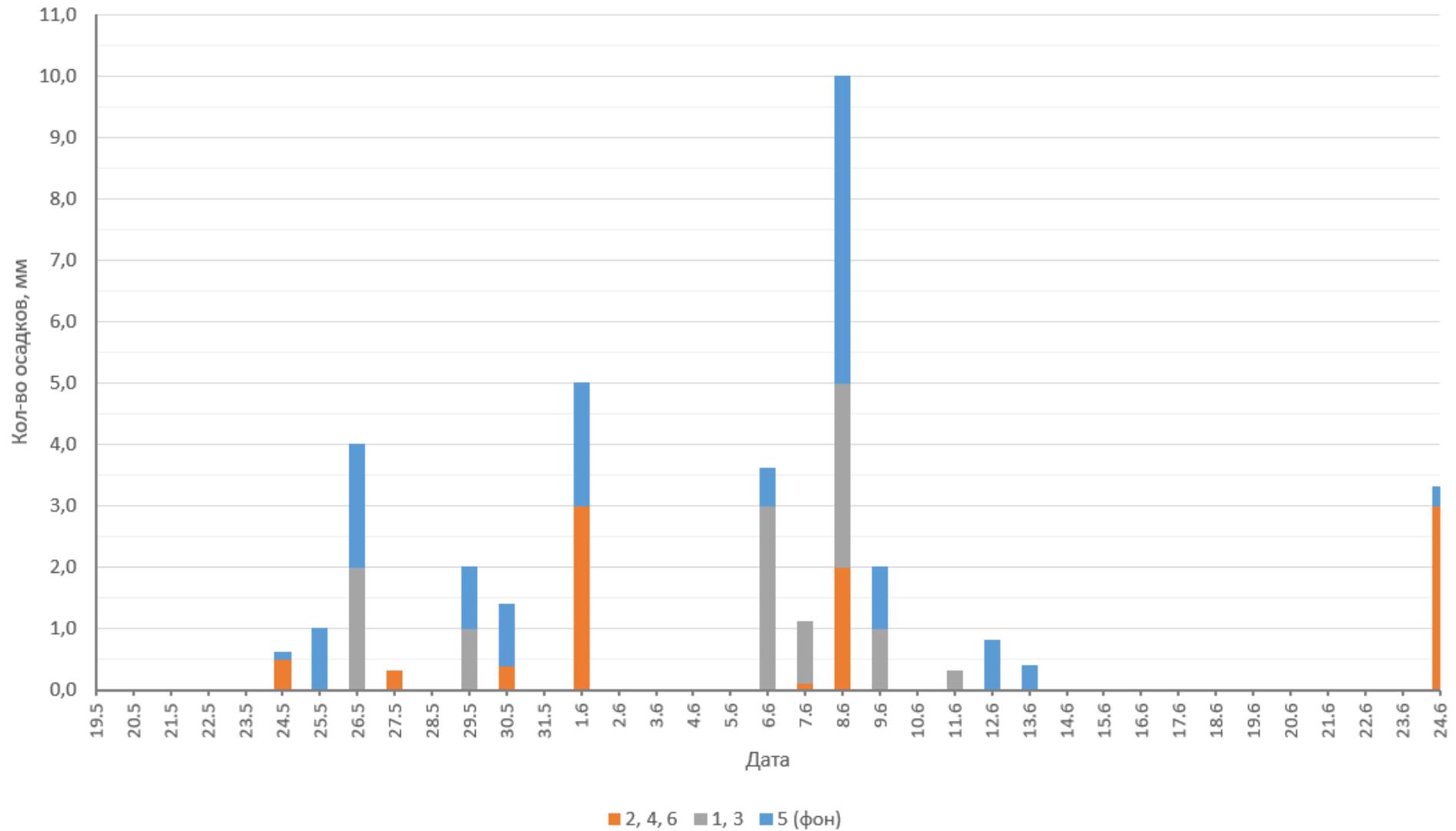
# График изменения температуры поверхности земли



# График изменения температуры воздуха



# Диаграмма осадков



# Комплексный показатель пожарной опасности В.Г. Нестерова

Номер области	Дата возгорания	Метеорологическая станция	Индекс Нестерова	Степень пожарной опасности
1	19.06.2021	п. Сангар	2 712,14	Средняя
2	22.06.2021	с. Бердигестях	5 501,76	Высокая
3	23.06.2021	п. Сангар	3 682,33	Средняя
4 и 6*	24.06.2021	с. Бердигестях	5 754,48	Высокая
5*	-	с. Намцы	5 026,86	Высокая

\*фоновый участок

# Антропогенный фактор возникновения пожаров



Области 1 (слева) и 2 (справа). Маркером обозначена область возгорания, синим выделены прошлогодние гари и красной линией дорога

# Оценка пожароопасной обстановки

- Показатели NDMI для всех областей соответствуют водному стрессу растительности, т.к. находятся в пределах от -0,19 до 0,23. В большей степени это относится для участков 1-4, где в дальнейшем произойдет возгорание.
- Анализ значений NDWI показал, что каждая из областей соответствуют растительности. К моменту возгорания значения индекса составляло от -0,61 до -0,35 для участков 1-4. Можно отметить плавный восходящий тренд к моменту возгорания для всех участков, что говорит о снижении влаги в растительности.
- Показатели NDVI для областей 1-4 находятся в промежутке от 0,41 до 0,72 к моменту возгорания. Для участков 1, 4 и 6 можно отметить снижение индекса к моменту возгорания, что говорит о снижении влаги в деревьях.
- Имел место тренд на повышение температуры воздуха с 13.06 для всех участков. Для участков 2, 4 и 6 к моменту возгорания макс. температура воздуха составляла 34,4-35,6 °С, а для участков 1 и 3 – 29 и 31,7 °С соответственно.
- С 10.06 и до момента возгорания осадки выпадали крайне редко (2 раза на фоновом участке, 1 раз на месте возгорания) и в малом количестве (меньше 1 мм).
- Было выявлено повышение средней температуры поверхности земли, достигнув максимальное значение к моменту возгорания, что связано с повышением температуры воздуха и низким уровнем осадков.
- Возникновение пожара на области 1 раньше всех остальных случаев можно объяснить близким нахождением дороги, что могло привести к поджогу, а также близкое расположение прошлогодних гарей.
- Комплексный показатель пожарной опасности В.Г. Нестерова соответствуют высокой степени пожароопасности для областей 2, 4, 5 и 6. И средней для областей 1 и 3.

# Методика оценки пожароопасной обстановки

1. Выполнить расчет NDMI, NDWI, NDVI за 30-дневный период и построить их графики по дням
2. Построить диаграмму выпавших осадков за 30-дневный период по дням
3. Построить графики температуры воздуха и поверхности земли за 30-дневный период по дням
4. Проанализировать изменение значений NDMI, NDWI, NDVI. При значениях NDMI, NDWI, NDVI в диапазонах  $(-0,3; -0,1)$ ,  $(-0,35; -0,15)$ ,  $(0,15; 0,3)$  соответственно отмечается водный стресс растительности, предшествующий возникновению очага возгорания
5. Проанализировать данные о количестве выпавших осадков. При отсутствии осадков в течение недели отмечается достаточная для возникновения очага возгорания засуха
6. Проанализировать температуру воздуха и поверхности земли. При температуре воздуха и поверхности земли в районе  $30-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  отмечается возможность возникновения очага возгорания