

Использование спутниковых данных ряда спектральных диапазонов при моделировании водного и теплового режимов территорий с разным характером увлажнения

Е.Л.Музылев¹, З.П.Старцева¹, Е.В.Волкова², Василенко Е.В.

¹Институт водных проблем РАН

E-mail: muzylev@iwr.ru

²Европейский центр НИЦ "Планета"

E-mail: quantocosa@bk.ru

Цель исследования

Использование оценок характеристик подстилающей поверхности (ПП) и метеорологических характеристик по ИСЗ данным разных спектральных диапазонов при создании метода расчёта влагозапасов почвы W и суммарного испарения ET как важнейших показателей водообеспеченности территорий сель-хоз. регионов с различным увлажнением в течение сезона вегетации.

Основной инструмент для расчётов – физико-мат. модель влаго- и теплообмена участков поверхности суши с атмосферой LSM (Land Surface Model), адаптированная к оценкам, полученным по спутниковым данным.



Центрально-Чернозёмный регион (ЦЧР) Европейской части России (49°30′–54° с.ш. и 31°–43° в.д.) - Курская, Орловская, Воронежская, Белгородская, Липецкая, Тамбовская и Брянская обл. общей площадью 227300 км².

Физико-математическая модель LSM (Land Surface Model) разработана для расчёта запасов влаги в деятельном слое почвы W , суммарного испарения ET , вертикальных потоков скрытого и явного тепла и других элементов водного и теплового режимов, а также температуры поверхностей почвы T_g и растительного покрова T_f , радиационной температуры T_s и распределений влажности и температуры почвы по глубине.

Основу модели составляют уравнение вертикального влагопереноса в почве, в котором учитывается поглощение воды корнями растений, и полуэмпирические bulk-формулы для определения испарения с поверхности голой почвы и транспирации растительности, а также уравнения теплопроводности для почвы и теплового баланса для ее поверхностного слоя и слоя растительности. Верхние граничные условия для уравнений влагопереноса и теплопроводности задавались в виде потоков влаги и тепла на поверхностях почвы и растительного покрова, а нижние – в виде потоков, пропорциональных градиентам влажности и температуры на нижней границе её деятельного слоя.

Краткое описание LSM

Влагоперенос в почве

Поглощение воды корнями растений

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} - K(\theta) \right] - S_r(\theta, z) \quad S_r(\theta, z) = -K(\theta) [\psi_r - \psi(\theta)] b \rho_r(z)$$

Водный потенциал листьев

Коэффициент гидравлической проводимости

Устьичное сопротивление

$$\psi_f = \psi_r - r_r E_f$$

$$E_f = \rho_w \int_0^{z_{\max}} S_r(\theta, z) dz$$

$$K(\theta) = K_0 \left(\frac{\theta}{\theta_s} \right)^{2n+3}$$

$$r_s = r_0 \frac{\psi(\text{WP}) - \zeta \psi_f}{\psi(\text{WP}) - \psi_f}$$

Уравнение

теплопроводности

Радиационная температура поверхности

$$C_{\text{eff}} \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

$$\sigma T_s^4 = R_a - R_{lf} - R_{lg}$$

Испарение с голой почвы

Транспирация растительности

$$E_g = \rho_a \cdot r \cdot (q^*(T_g) - q_{af}) / r_{ag}$$

$$E_f = \rho_a \cdot (q^*(T_f) - q_{af}) \cdot LAI / (r_a + r_s)$$

Поток явного тепла с голой почвы и с растительного покрова

$$H_g = \frac{\rho_a c_p (T_g - T_{af})}{r_{ag}}$$

$$H_f = \frac{\rho_a c_p (T_f - T_{af})}{r_{af}}$$

Параметрами модели являются характеристики почв, определявшиеся с привлечением информации из базы данных HWSD (Harmonized World Soil Database), и растительности, к особо важным из которых относятся проективное покрытие V и листовой индекс LAI, чьи значения определялись по данным съемки со спутников.

Входные переменные модели – суммарная радиация, температура, влажность и давление воздуха, осадки, облачность, скорость ветра, которые определяются при стандартных срочных метеорологических наблюдениях. Суммы осадков и температура поверхности почвы и растительности оценивались также по спутниковым данным.

Значения всех параметров и входных переменных модели рассчитывались в узлах вычислительной сетки размером 1×1 ($\sim 2 \times 1$ км²) и 3×3 пиксела ($\sim 7 \times 5$ км²) по данным ИК каналов спутниковой аппаратуры. Также в узлах сетки производились вычисления влагозапасов почвы W , суммарного испарения ET и других характеристик водного и теплового режимов исследуемых территорий и температур подстилающей поверхности T_f , T_g и T_s .

Сенсоры/Спутники

Параметры и входные переменные модели,
оцениваемые по спутниковым данным

AVHRR/NOAA-19

SEVIRI/Meteosat-9,-11

МСУ-МР/Метеор-М №№ 2-2

ASCAT/MetOp-A,-B,-C

Излучательная способность
подстилающей поверхности E

Температура воздуха у поверхности
растительного покрова (температура
растительности) T_a

Вегетационный
индекс NDVI

Осадки Pr

Температура поверхности почвы T_g

Проективное покрытие
растительностью V

Эффективная температура
подстилающей поверхности LST

Листовой индекс LAI

Влажность поверхности почвы SSM

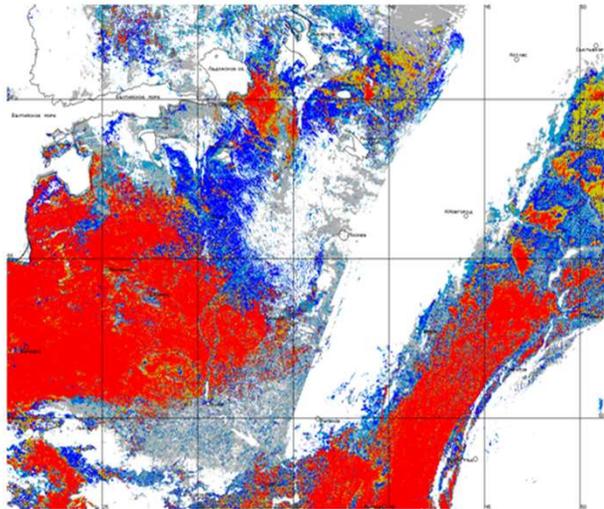
Значения B и LAI , а также температуры подстилающей поверхности и количества осадков получались при тематической обработке данных измерений всех радиометров с использованием разработанных в НИЦ “Планета” методов и технологий построения таких оценок.

Значения $NDVI$ рассчитывались с помощью стандартных зависимостей от альбедо в двух видимых каналах всех радиометров.

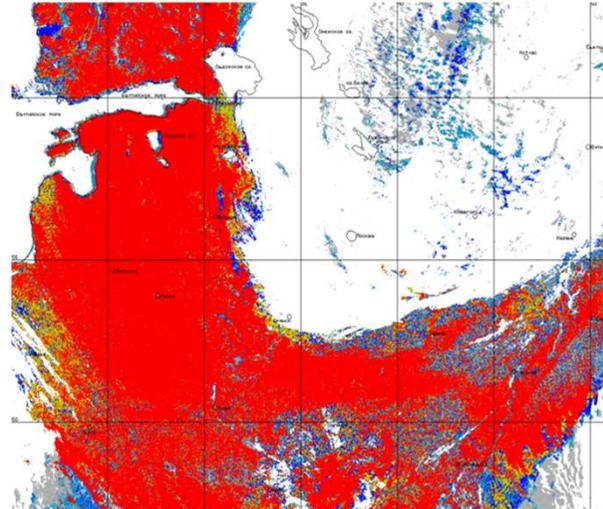
$B=2*(NDVI-0,1)$ для значений $0,1 < NDVI < 0,6$

$LAI = -2.5 \cdot \ln(1.2 - 2 \cdot NDVI)$ для сельскохозяйственных культур

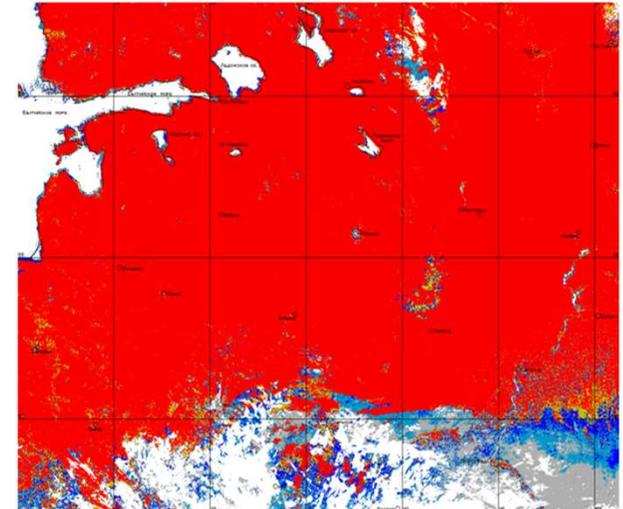
0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 NDVI



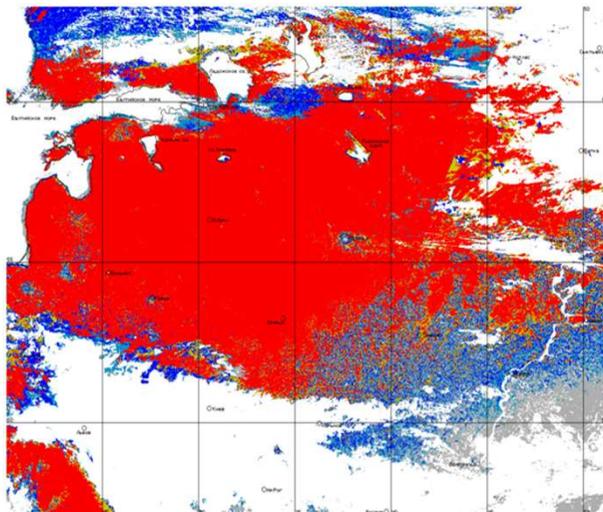
9 мая 2022 г.



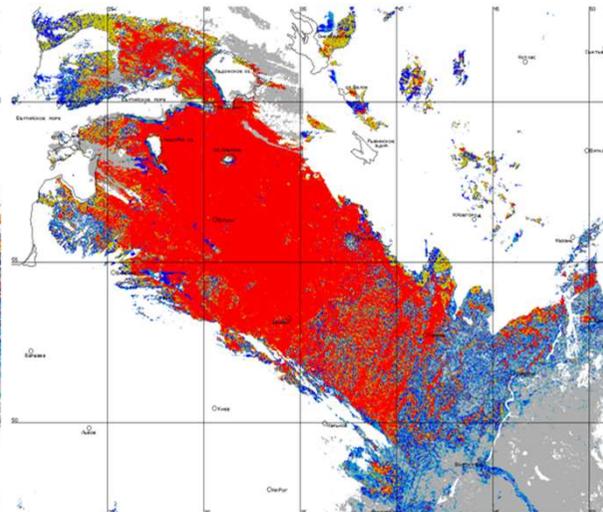
24 мая 2022 г.



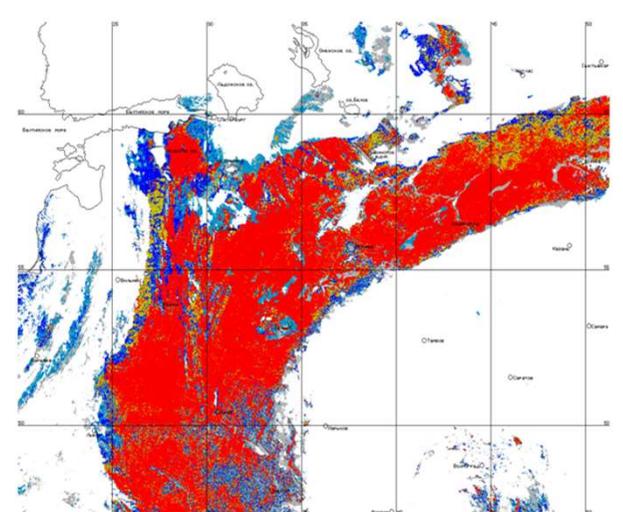
26 июня 2022 г.



12 августа 2022 г.

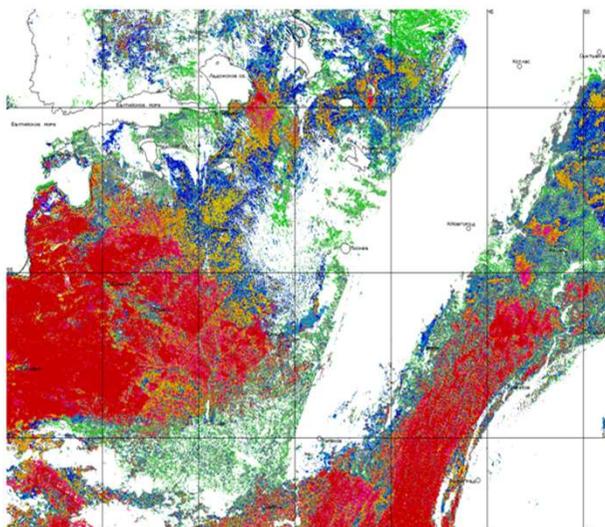


10 сентября 2022 г.

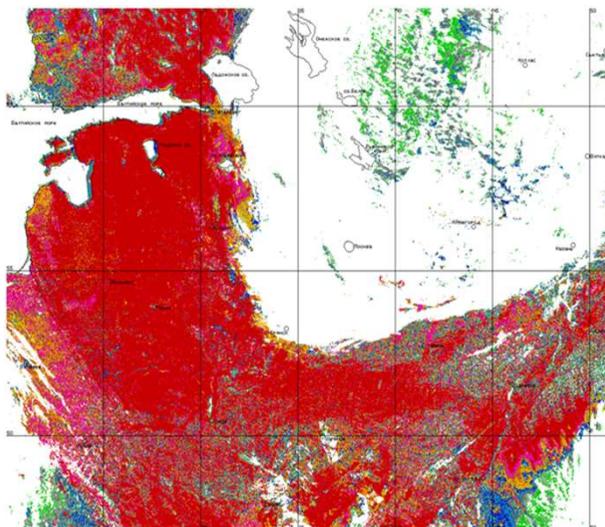


11 октября 2022 г.

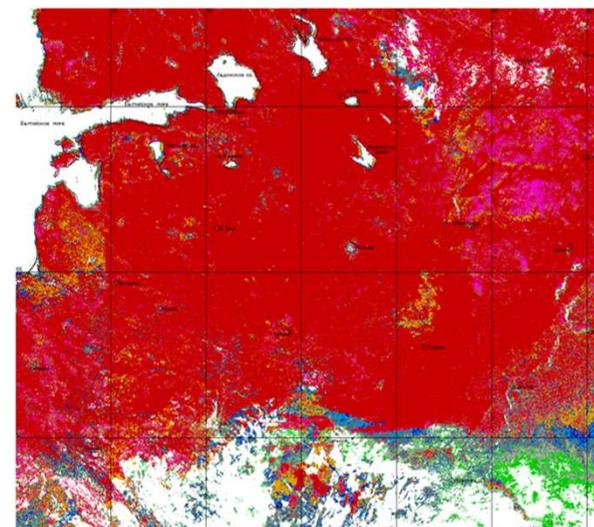
Значения вегетационного индекса NDVI, определенные по данным AVHRR/NOAA-19 для Европейской территории России (46-63°с.ш. и 15-51°в.д.), для нескольких дней 2022 г.



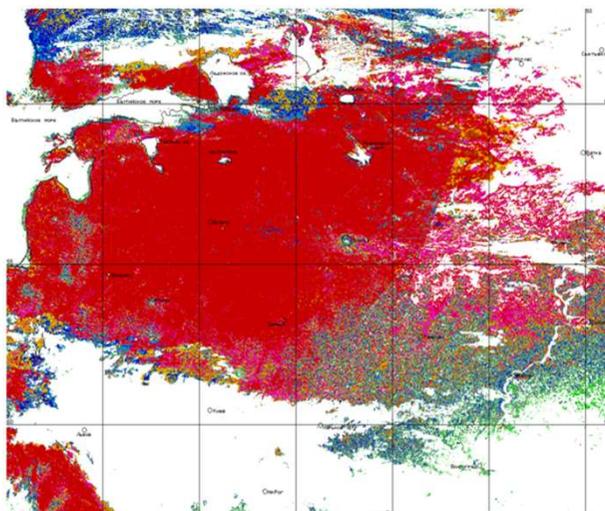
9 мая 2022 г.



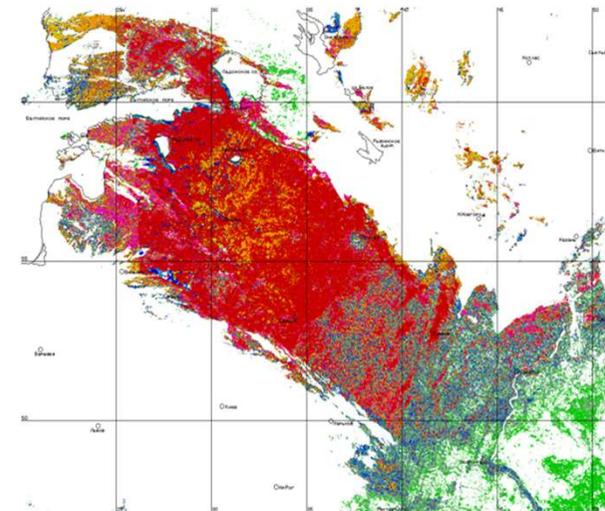
24 мая 2022 г.



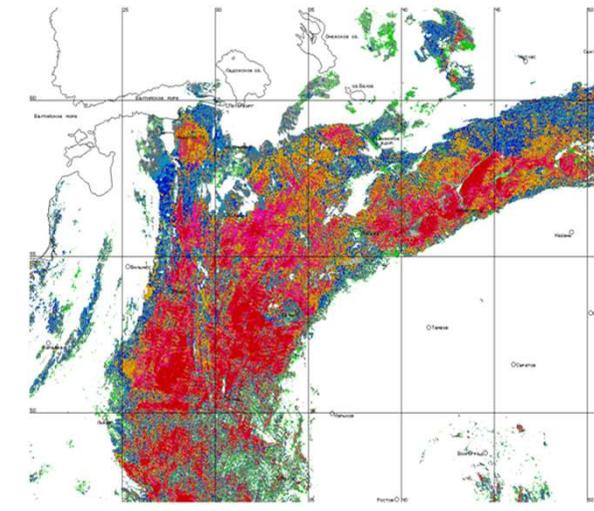
26 июня 2022 г.



12 августа 2022 г.

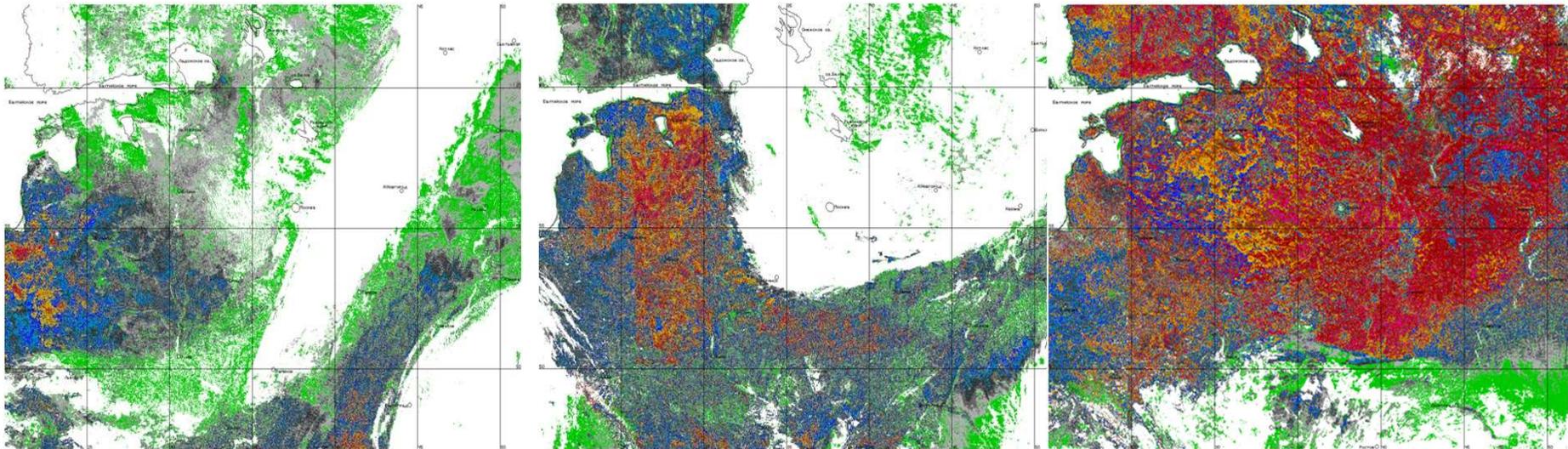


10 сентября 2022 г.



11 октября 2022 г.

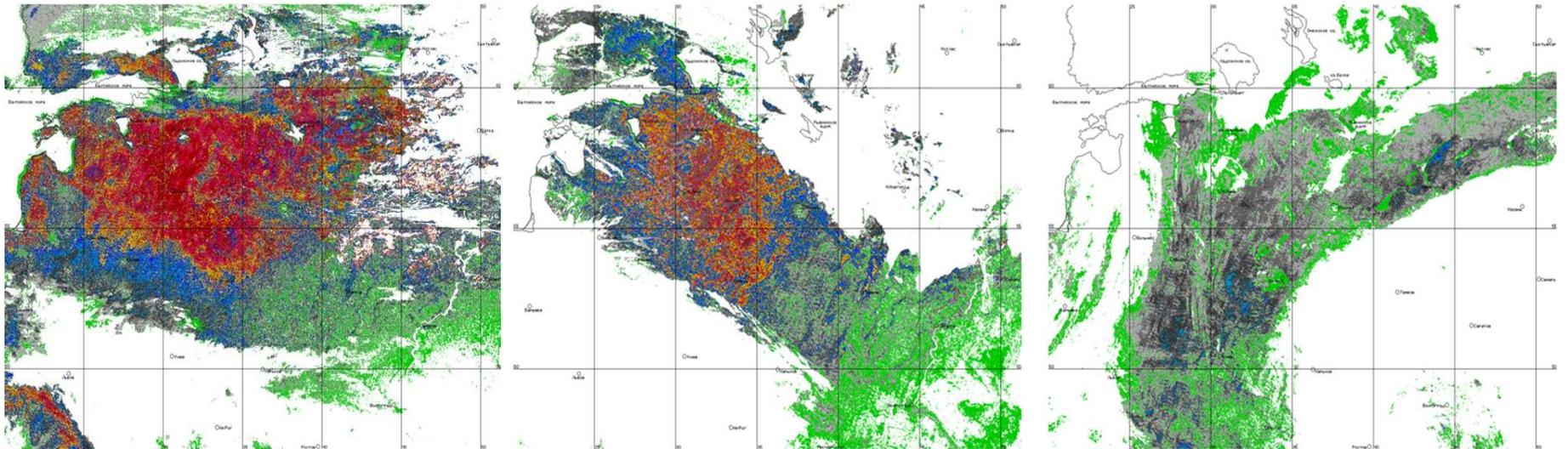
Значения проективного покрытия растительностью V , определенные по данным AVHRR/NOAA-19 для Европейской территории России ($46-63^{\circ}$ с.ш. и $15-51^{\circ}$ в.д.), для нескольких дней 2022 г.



9 мая 2022 г.

24 мая 2022 г.

26 июня 2022 г.



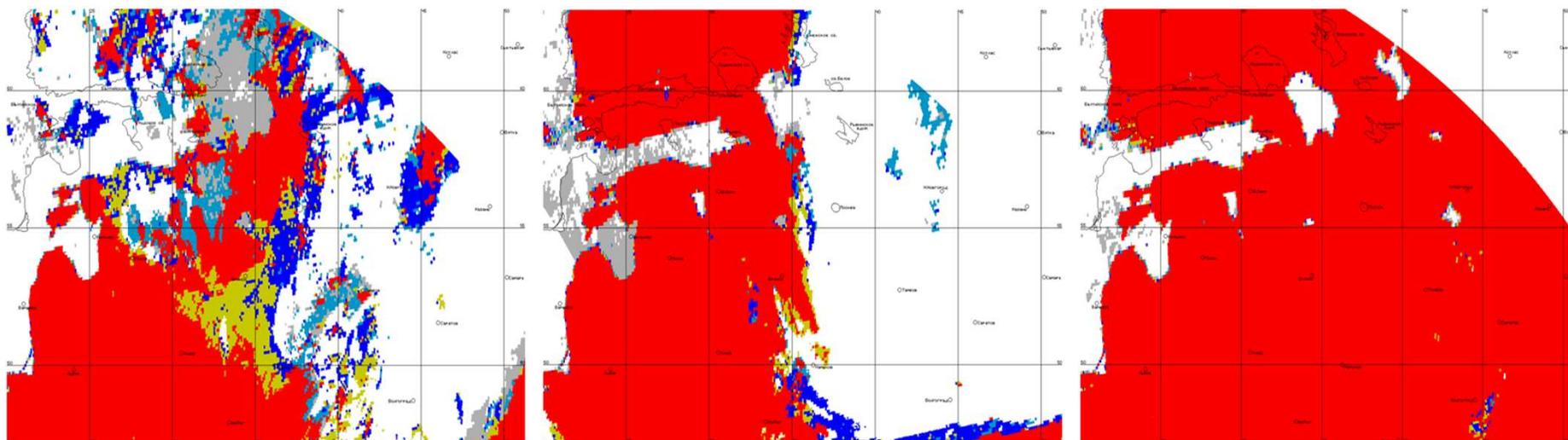
12 августа 2022 г.

10 сентября 2022 г.

11 октября 2022 г.

Значения листового индекса LAI, определенные по данным AVHRR/NOAA-19 для Европейской территории России (46-63°с.ш. и 15-51°в.д.), для нескольких дней 2022 г.

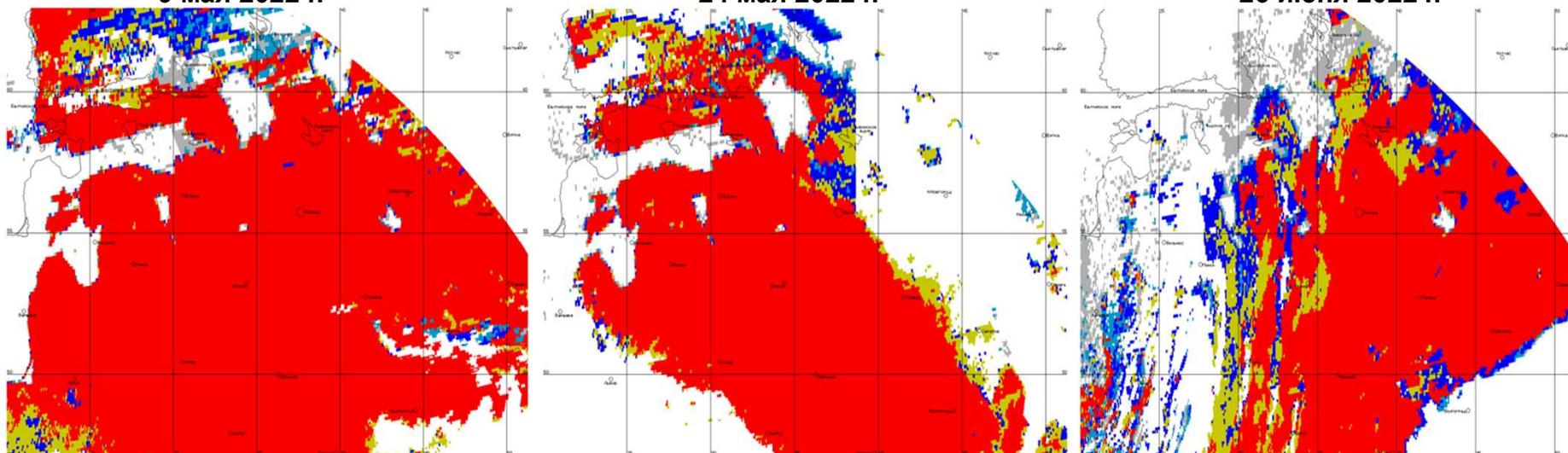
0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 NDVI



9 мая 2022 г.

24 мая 2022 г.

26 июня 2022 г.

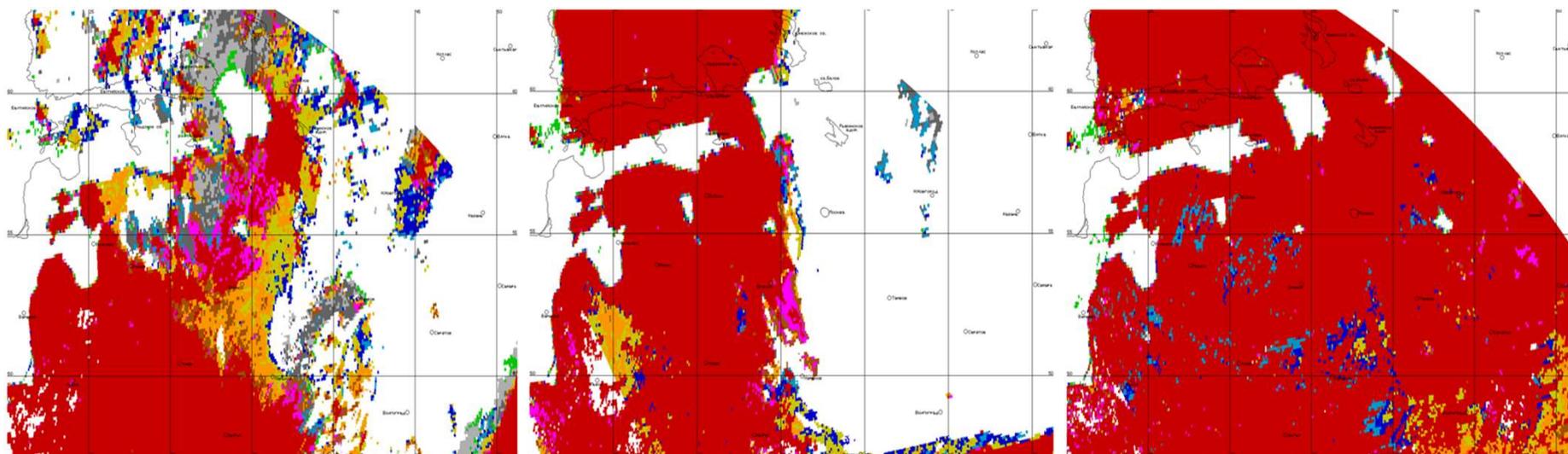
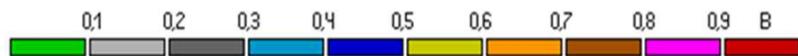


12 августа 2022 г.

10 сентября 2022 г.

11 октября 2022 г.

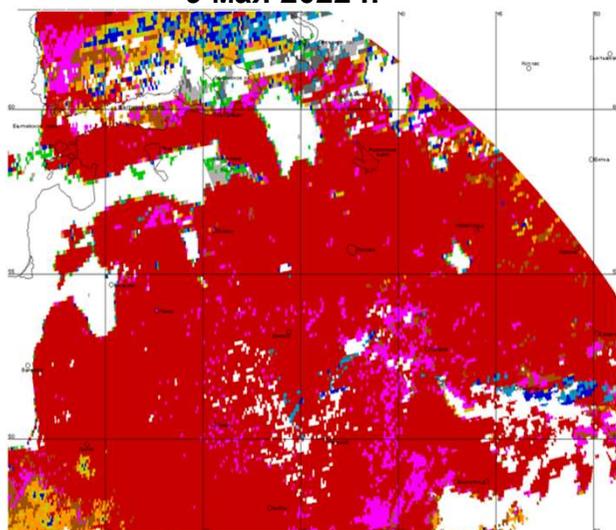
Значения вегетационного индекса NDVI, определенные по данным SEVIRI/Meteosat-11 для Европейской территории России (46-63°с.ш. и 15-51°в.д.), для нескольких дней 2022 г.



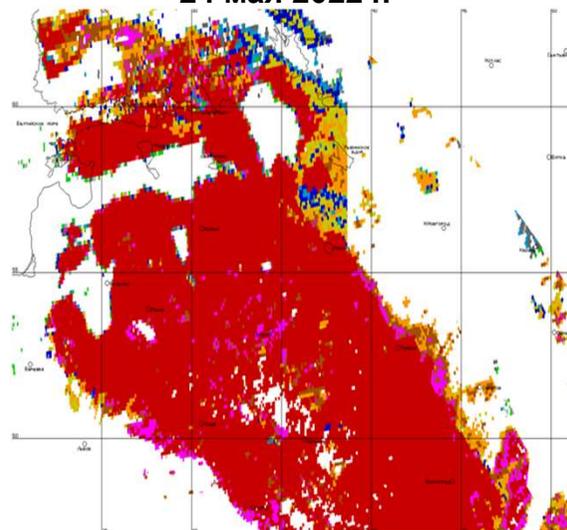
9 мая 2022 г.

24 мая 2022 г.

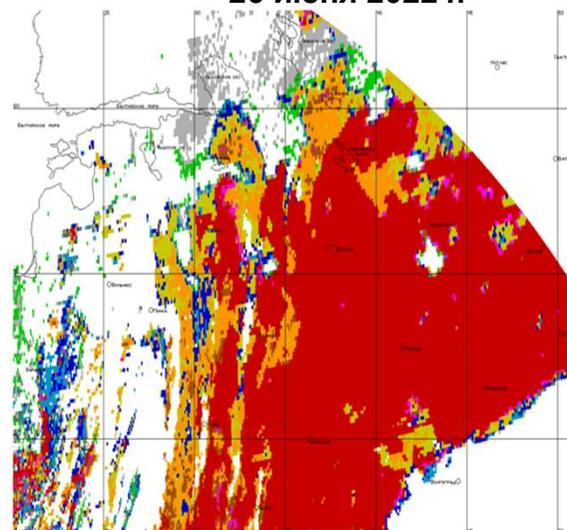
26 июня 2022 г.



12 августа 2022 г.

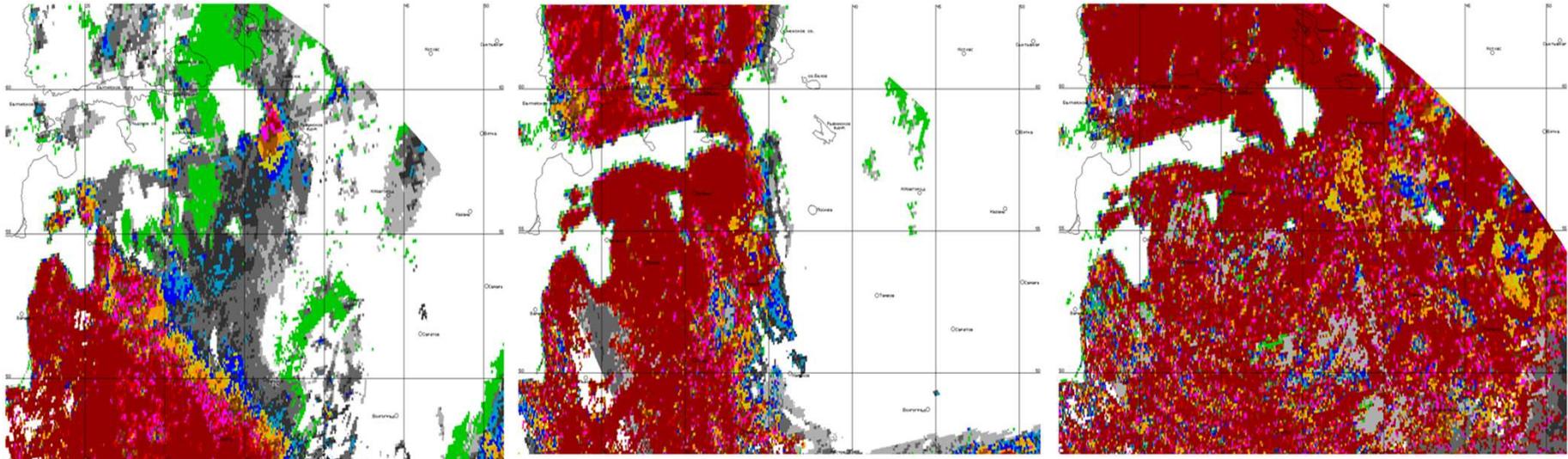


10 сентября 2022 г.



11 октября 2022 г.

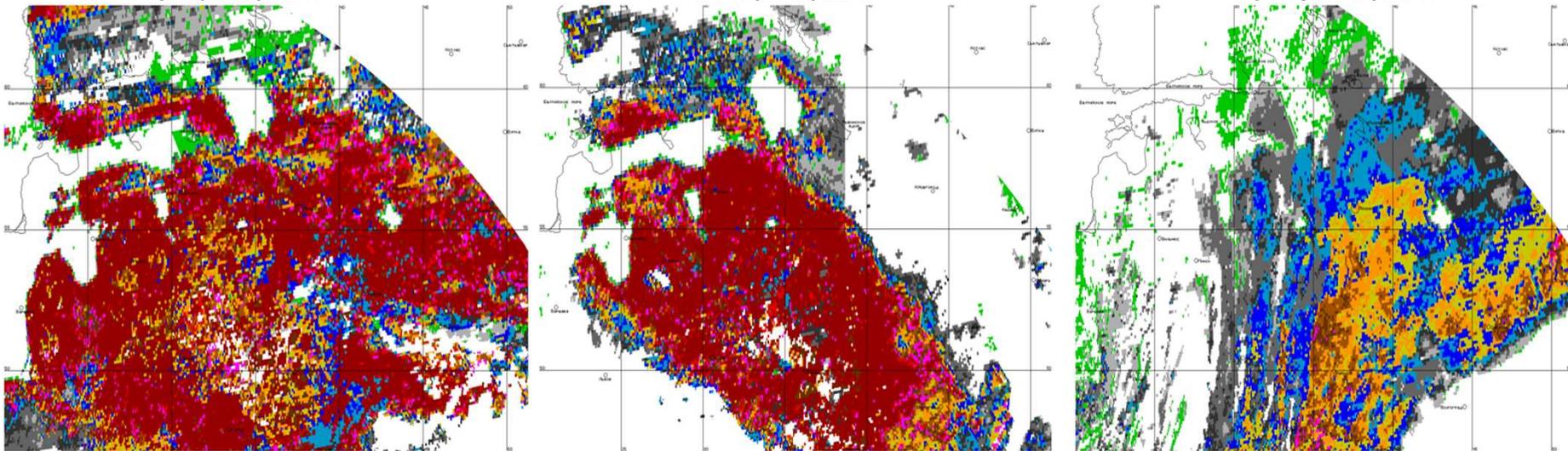
Значения проективного покрытия растительностью V , определенные по данным SEVIRI/Meteosat-11 для Европейской территории России ($46-63^{\circ}$ с.ш. и $15-51^{\circ}$ в.д.), для нескольких дней 2022 г.



9 мая 2022 г.

24 мая 2022 г.

26 июня 2022 г.

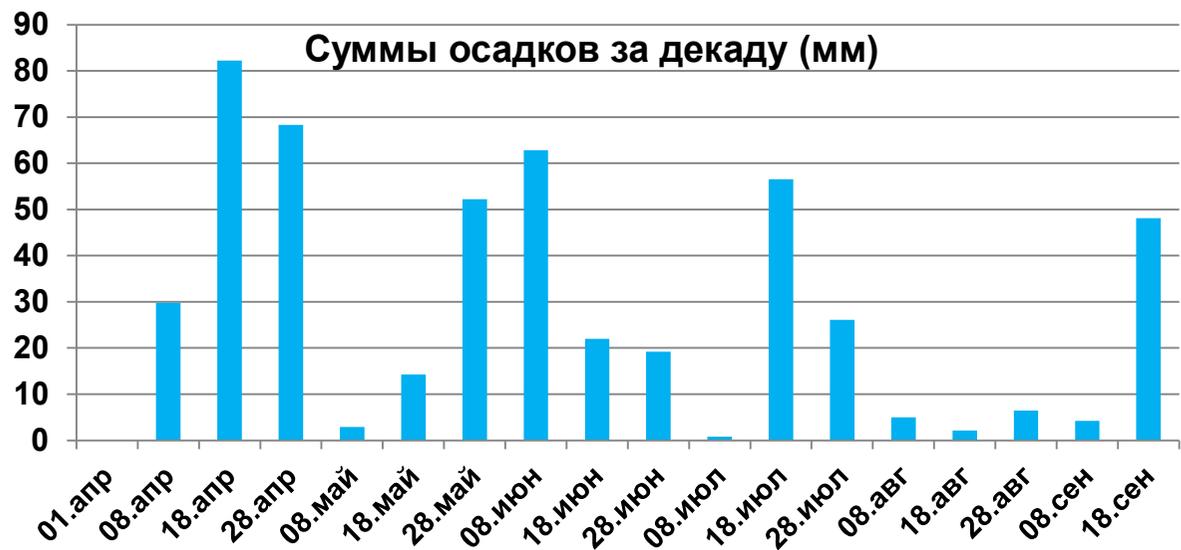
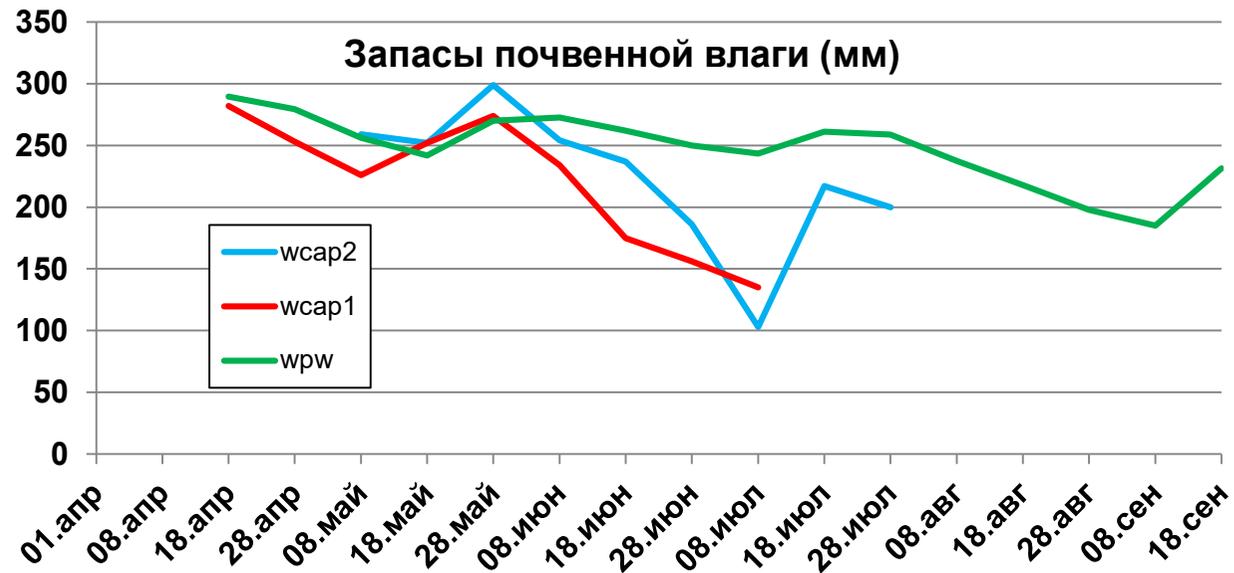


12 августа 2022 г.

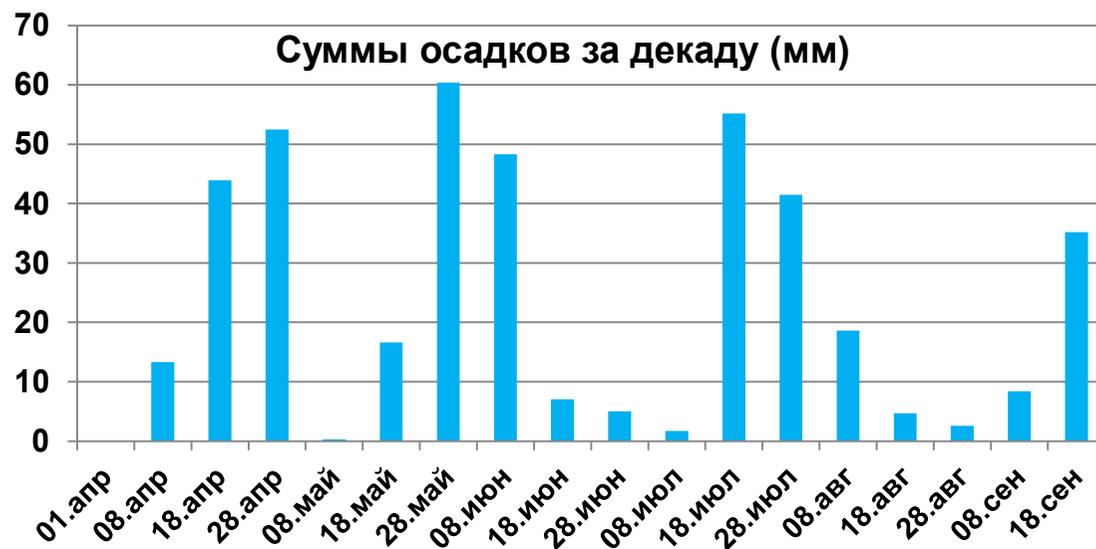
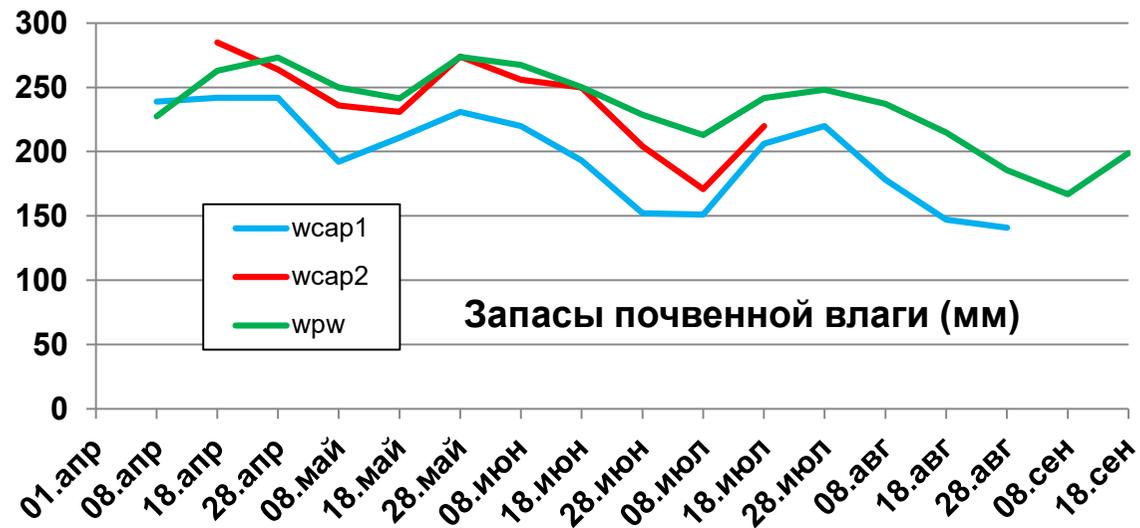
10 сентября 2022 г.

11 октября 2022 г.

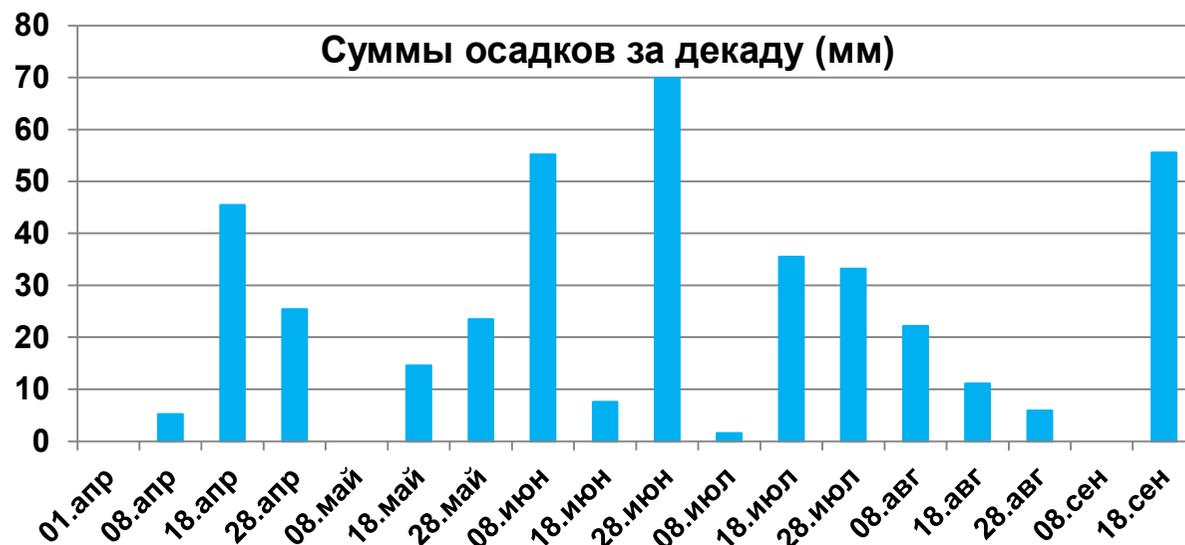
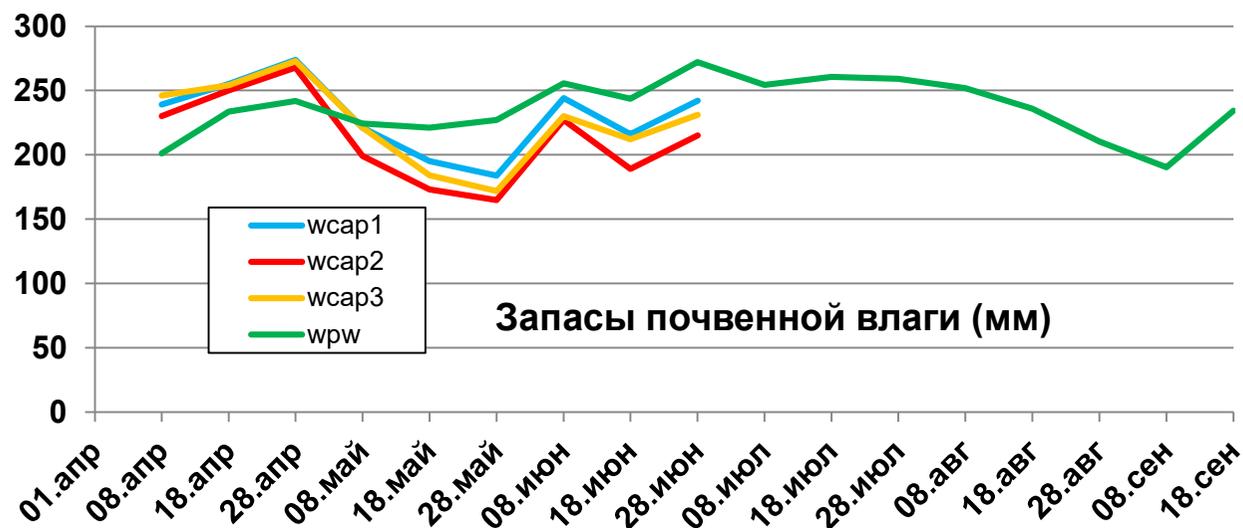
Значения листового индекса LAI, определенные по данным SEVIRI/Meteosat-11 для Европейской территории России (46-63°с.ш. и 15-51°в.д.), для нескольких дней 2022 г.



Влагозапасы метрового слоя почвы, измеренные на агрометеостанции (wcap1 – тритикале, wcap2 – овёс) и рассчитанный по модели (wpw), а также декадные суммы осадков по данным AVHRR/NOAA-19. Станция Брянск.



Влагозапасы метрового слоя почвы, измеренные (wcap1 – люцерна, wcap2 – пшеница яровая) и рассчитанные по наземным и спутниковым данным (wpw) и декадные суммы осадков по данным AVHRR/NOAA-19. Станция Фатех.



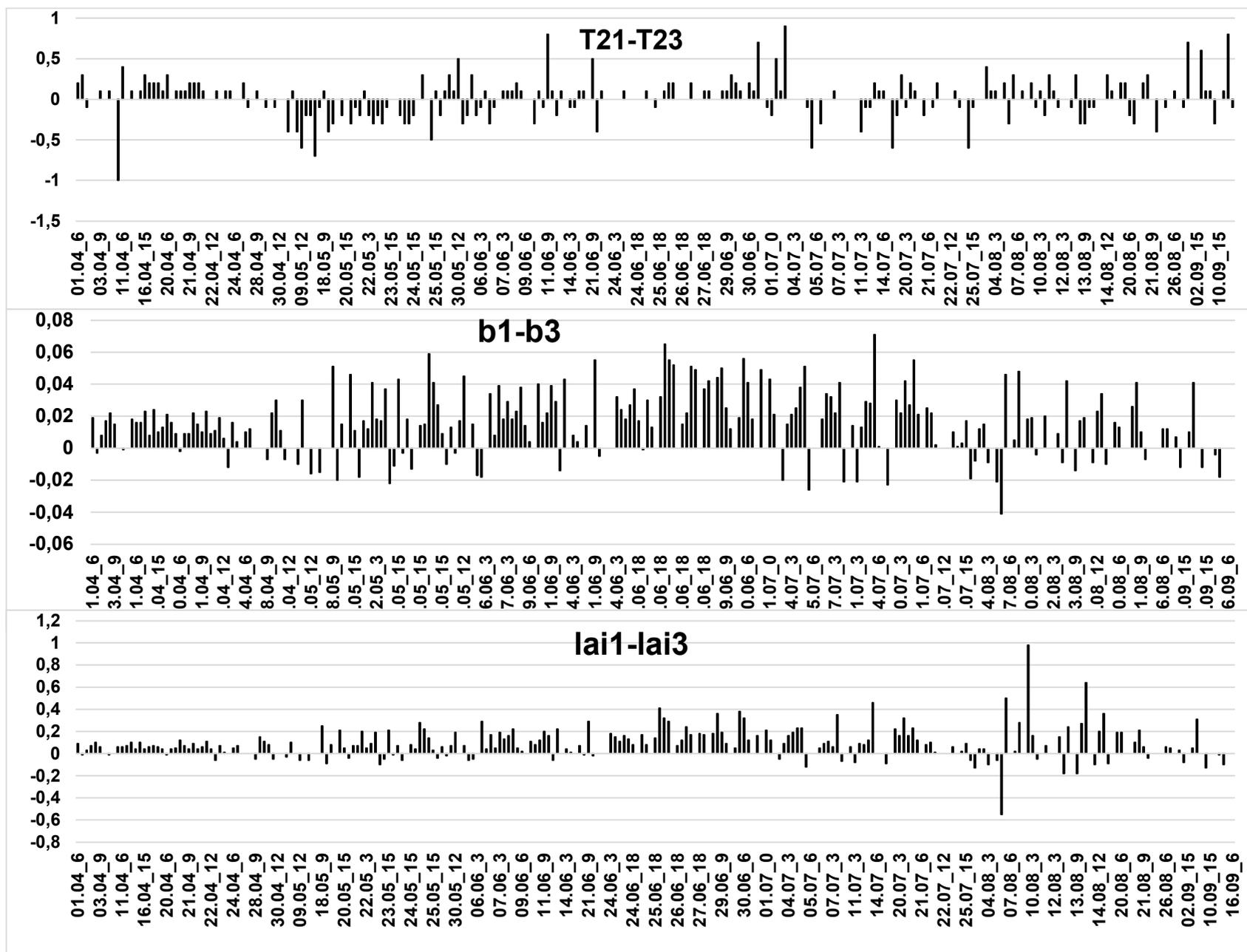
Влагозапас метрового слоя почвы, измеренные (wcap1 – кукуруза, wcap2- пшеница озимая, wcap3 – ячмень яровой) и рассчитанные по наземным и спутниковым данным (wpw) и декадные суммы осадков по данным AVHRR/NOAA-19. Станция Обоянь. Сезон вегетации 2022 г.



Разности значений температур воздуха T2 (вверху), проективного покрытия растительностью В (в центре) и листового индекса LAI (внизу), посчитанные по данным AVHRR/NOAA-19 для фрагментов 1x1 и 3x3 пиксела. Станция Брянск. Сезон вегетации 2022 г.



Разности значений температур воздуха T2 (вверху), проективного покрытия растительностью В (в центре) и листового индекса LAI (внизу), посчитанные по данным AVHRR/NOAA-19 для фрагментов 1x1 и 3x3 пиксела. Станция Sosnovka (Ленинградская область). Сезон вегетации 2022 г.



Разности значений температур воздуха T2 (вверху), проективного покрытия растительностью В (в центре) и листового индекса LAI (внизу), посчитанные по данным AVHRR/NOAA-19 для фрагментов 1x1 и 3x3 пиксела. Станция Волосово (Ленинградская область). Сезон вегетации 2022 г.

Основные выводы

1. Описанный подход может рассматриваться как один из методов оценки влагозапасов почвы W , суммарного испарения ET и других компонент водного и теплового режимов территорий сельскохозяйственных регионов в разных климатических зонах в их динамике в течение сезона вегетации с привлечением данных дистанционного зондирования.
2. Результаты проведенных расчетов величин W и ET для исследуемых территорий сельскохозяйственного назначения северных и южных областей России за сезон вегетации 2022 г. позволяют судить о водообеспеченности этих территорий (лесных и лесостепных зон).

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

