



Исследование пригодности данных различного пространственного разрешения для мониторинга объектов

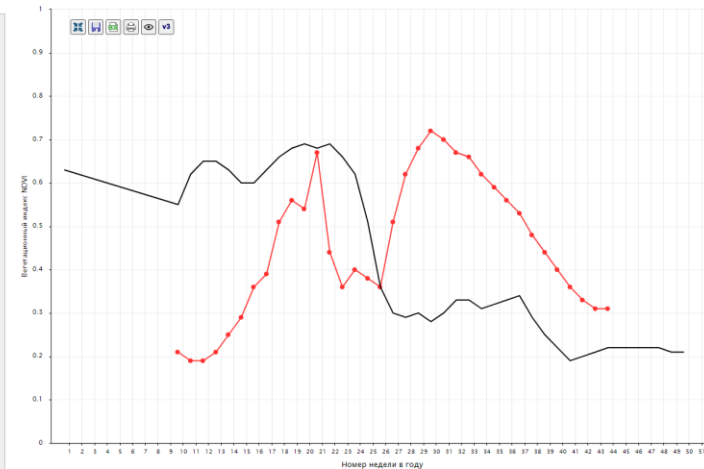
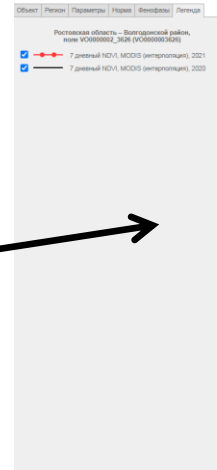
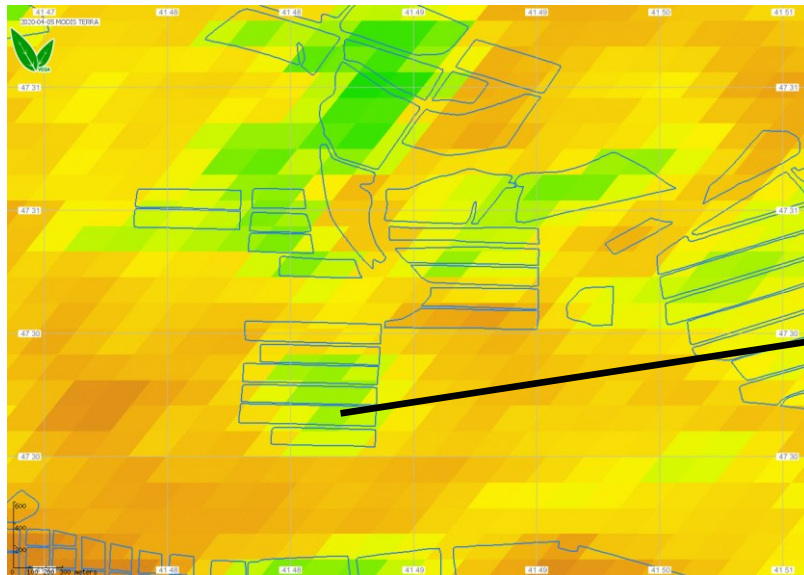
А.В. Кашницкий, Е.А. Лупян, Д.Е. Плотников, В.А. Толпин

Институт космических исследований РАН

Двадцать первая международная конференция
“Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”
13 – 17 ноября 2023 г.

Введение

При решении задач мониторинга растительности с помощью данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) часто используется анализ значений различных дистанционных индикаторов состояния растений в течение сезона вегетации. При решении многих задач может применяться анализ средних для объекта значений индекса NDVI, измеренного в течение сезона вегетации.

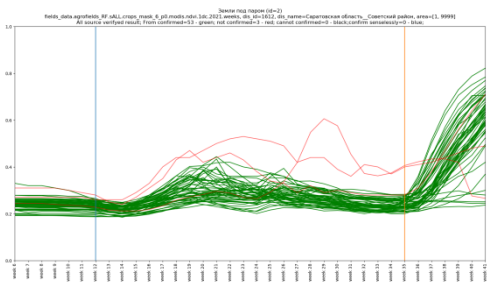


Полученные по этим данным графики осреднённого NDVI на поле в течение сезона вегетации

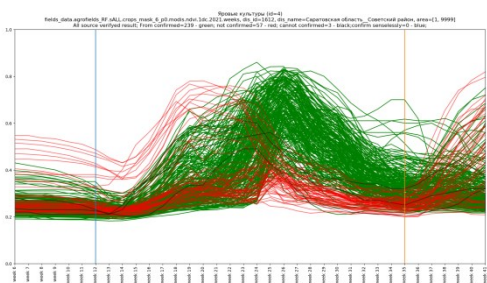
Пример восстановленных безоблачных ежедневных изображений NDVI (MODIS) анимация с шагом 7 дней

Примеры использования информации о среднем для с/х поля значения индекса NDVI

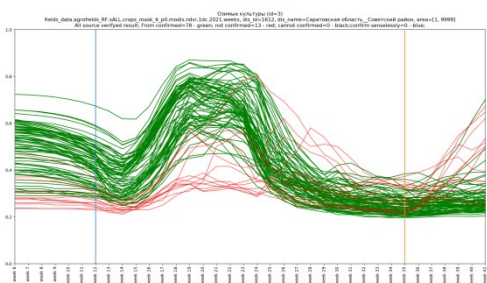
1



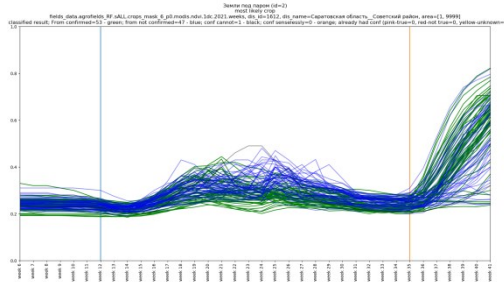
2



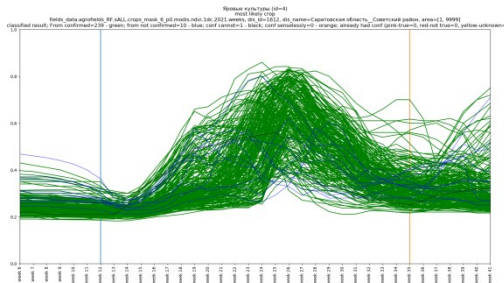
3



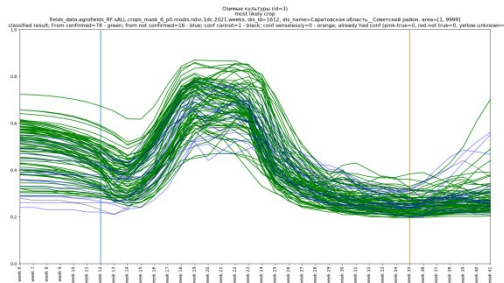
4



5



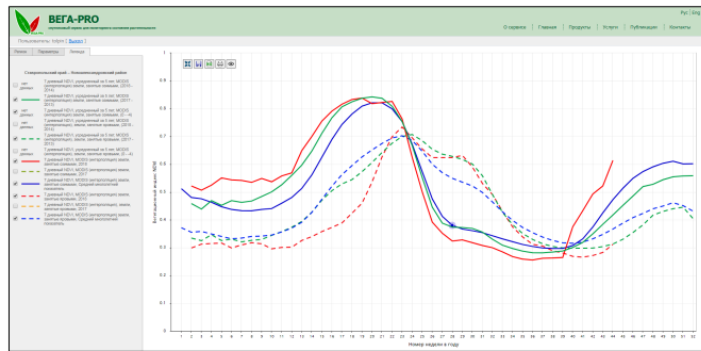
6



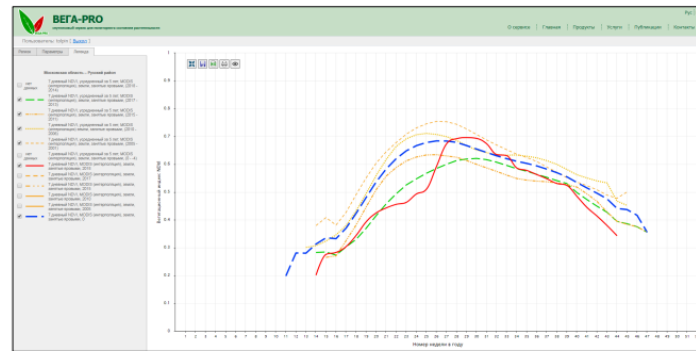
Результаты работы процедуры классификации типов с/х культур на графиках осредненного значения NDVI для многих полей. Показаны графики восстановленных временных серий по данным MODIS в течение периода вегетации отдельно по разным классам категорий сельскохозяйственных культур: 1 и 4 - Пары, 2 и 5 - Яровые, 3 и 6 - Озимые. На рисунках 1,2,3 приведены исходные классы, причем красным помечены объекты, не прошедшие проверку и сменившие в результате класс. На рисунках 4,5,6 приведены классы после проведения процедуры. Синим цветом помечены объекты, класс которых был изменен после процедуры. Зеленым цветом на всех графиках отмечены объекты, класс которых был подтвержден и остался без изменений.

Примеры использования информации о среднем для с/х поля значения индекса NDVI

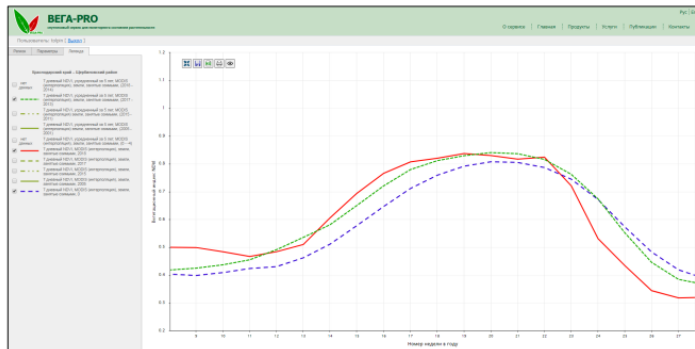
Анализ динамики вегетационных индексов



Ставропольский край – Новоселковский район – озимые и яровые.
При анализе отклонений текущего сезона в случае использования среднееголетней нормы оценка состояния может быть завышена по отношению к 5 летней норме.



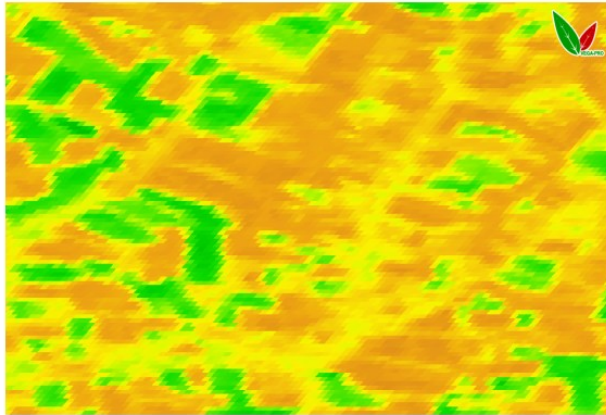
Московская область – Рузский район – яровые.
При анализе отклонений текущего сезона в случае использования ближайшей 5 летней нормы состояние будет оценено как среднее или лучше среднего, тогда как при использовании среднееголетней нормы состояние будет оценено как хуже среднего.



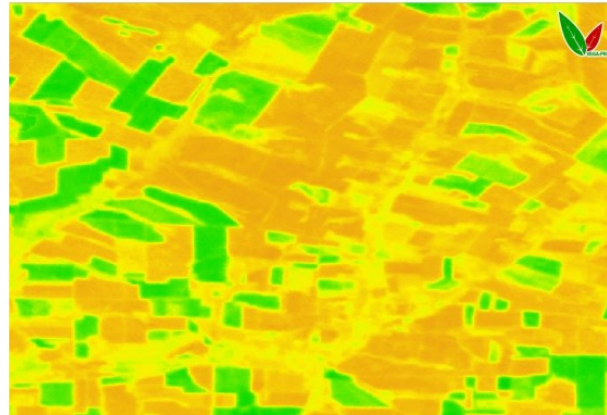
Краснодарский край, Щербиновский район – озимые.
При анализе отклонений текущего сезона оптимальным является использование ближайшей 5 летней нормы.

- Текущий год
- Среднееголетняя норма
- 5 летняя норма, ближайшая к текущему году

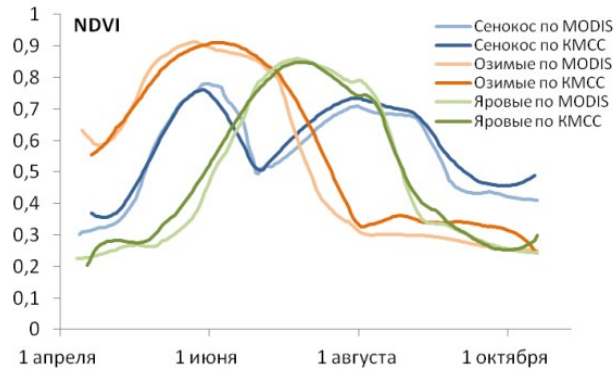
Вопрос пространственного разрешения используемых данных



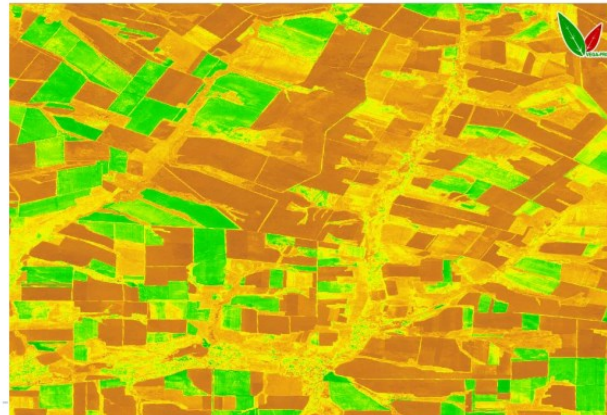
Изображение NDVI по данным прибора MODIS (01.05.2020) – 250 метров



Изображение NDVI по данным KMCC (01.05.2020) – 60 метров



Временные серии ежедневных измерений NDVI сельскохозяйственных культур по данным MODIS и KMCC



Изображение NDVI по данным прибора MSI (01.05.2020) – 10 метров

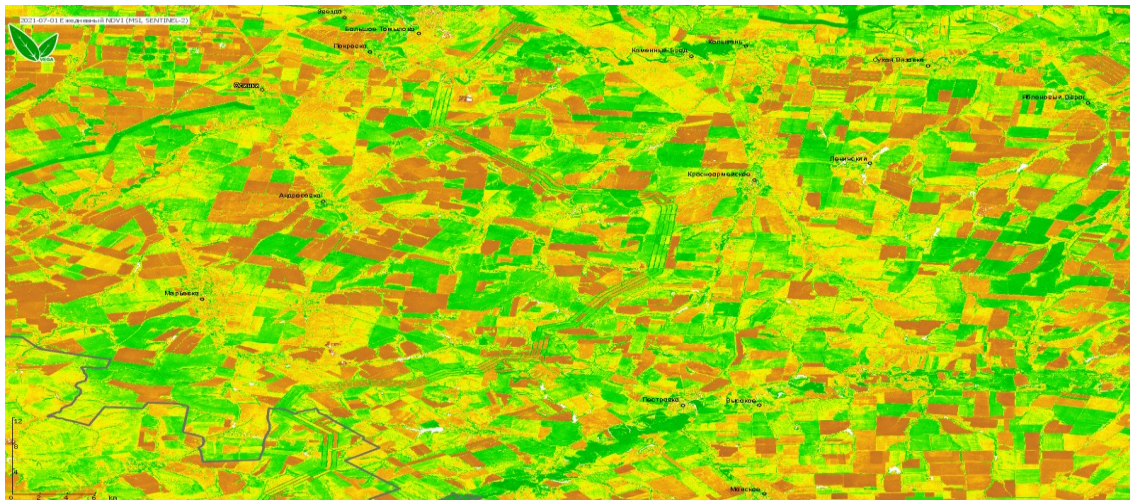
Исходные данные

1. Серии восстановленных изображений низкого пространственного разрешения (250 метров на пиксель), полученные на основе данных прибора MODIS спутников AQUA и TERRA.
2. Серии восстановленных изображений с пространственным разрешением 60 метров на пиксель, полученные на основе прибора КМСС (камеры МСУ-М) спутника Метеор-М №2.
3. Серии восстановленных изображений высокого пространственного разрешения (10 метров на пиксель), полученные на основе прибора MSI спутников Sentinel-2.

Исходные данные

Технология опирается на весовую реализацию метода локальной взвешенной регрессии полиномами LOESS (Cleveland, 1979) для восстановления временных рядов безоблачных спутниковых наблюдений без необходимости использования масок облачности и теней.

Пример восстановленных безоблачных ежедневных изображений NDVI (Sentinel-2)

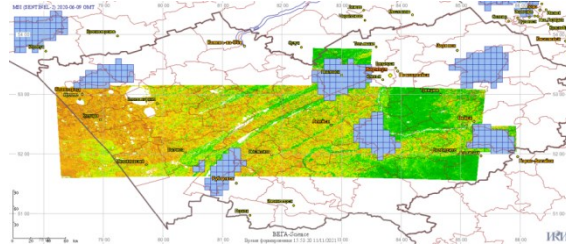
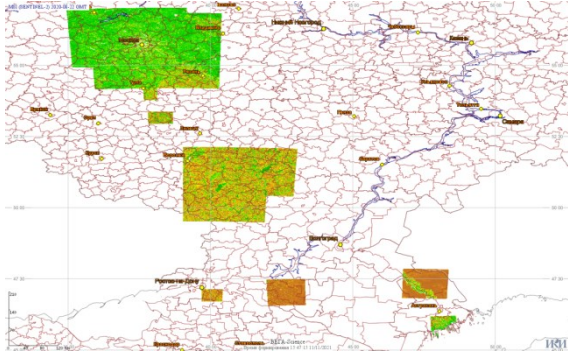


Территория части Самарской области, интервал с 1 июля по 1 сентября 2021 года анимация с шагом 5 дней

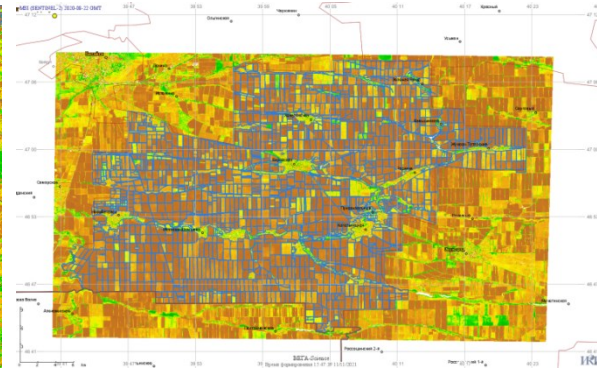
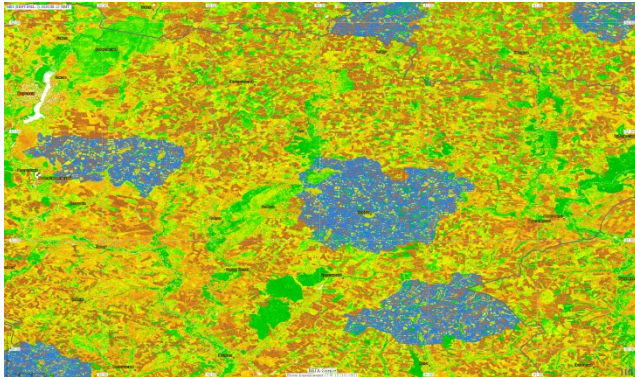
Из презентации:

Плотников и др., 2021 “Методы и технологии восстановления ежедневных безоблачных измерений земной поверхности для мониторинга растительного покрова по данным с зарубежных и российских спутниковых систем”

Территория исследования



Территория исследования в Европейской части России и Алтайский край



Примеры контуров в Воронежской и Ростовской областях

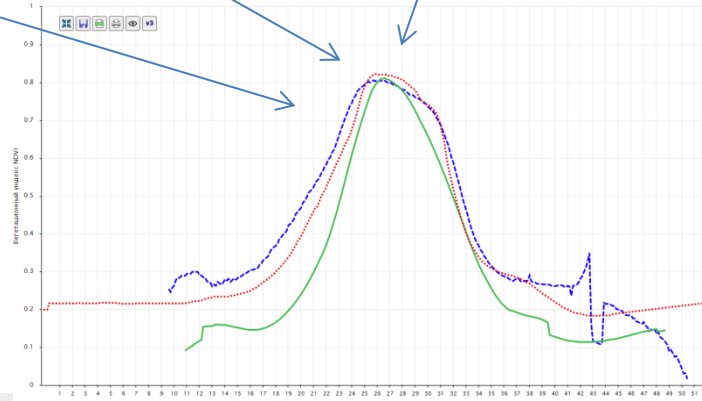
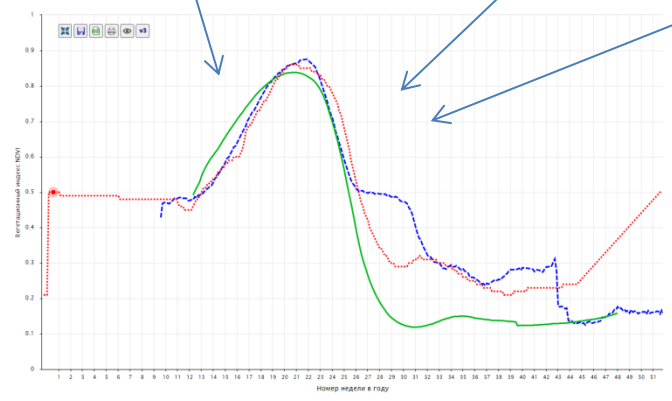
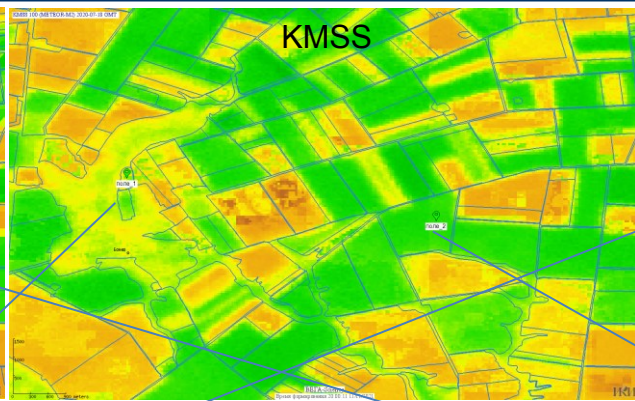
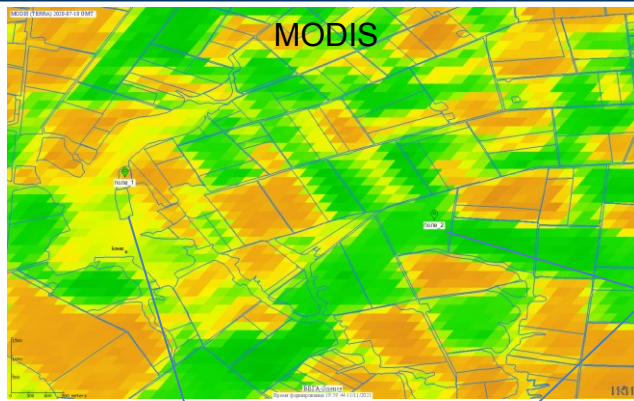
Количество полей

Выборка 1 (только по Воронежской обл.): **до применения фильтров: 28979 полей**

Выборка 2 (отдельные районы Московской, Астраханской, Ростовской, Воронежской, Тульской, Тамбовской, Волгоградской областей, Алтайского края): **до применения фильтров: 19651 полей**

Использованное в расчетах число полей и измерений в каждом случае меньше в связи с отсутствием данных и фильтрацией их части.

Расчет усредненного значения NDVI по трем наборам данных на каждом поле из выборки



- ✓ 1 дневной NDVI, 2020
- ✓ Ежедневный NDVI по MSI (SENTINEL-2), 2020
- ✓ Ежедневный NDVI по KMSS, 2020

Расчет осредненного значения NDVI по трем наборам данных на каждом поле из выборки

$$NDVI_{\text{после}} = \begin{cases} NDVI_{\text{до}}, & NDVI_{\text{до}} > 0,6 \\ 0,3125 * NDVI_{\text{до}}^2 + 0,625 * NDVI_{\text{до}} + 0,11245, & NDVI_{\text{до}} \leq 0,6 \end{cases}$$

Где $NDVI_{\text{после}}$ – значение индекса NDVI по MSI после коррекции, $NDVI_{\text{до}}$ – значение индекса NDVI по MSI до коррекции.

1A

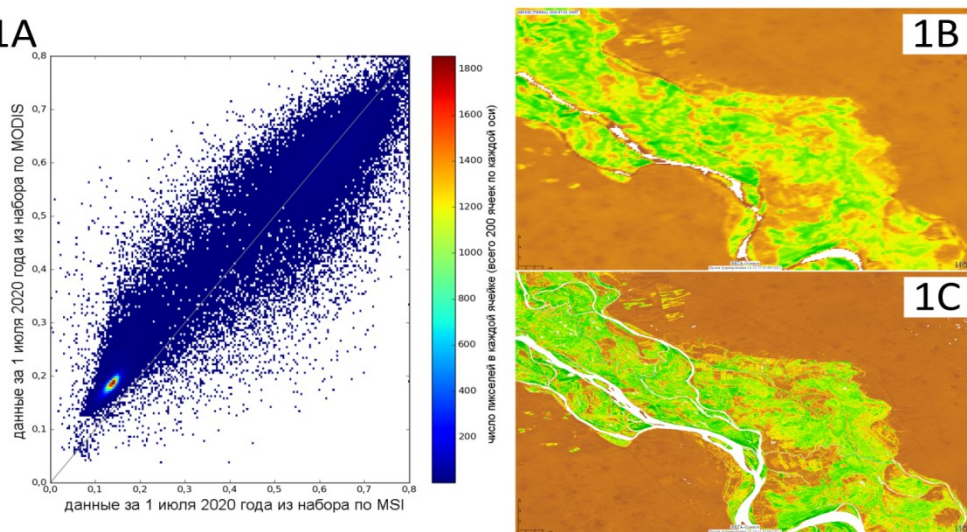
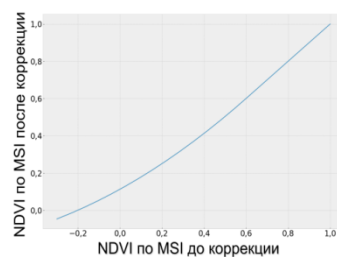
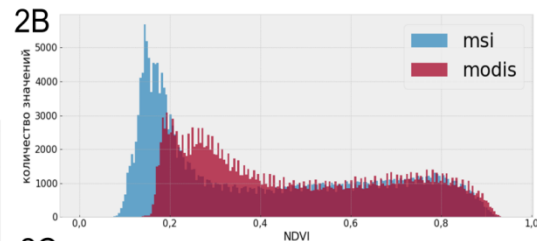


Рисунок 1. К пояснению различий NDVI, полученных по MSI и по MODIS. Двумерная гистограмма (1A) значений индекса NDVI за одно время из используемого набора данных по MSI (ось абсцисс) и MODIS (ось ординат), а также территория, по которой получена эта гистограмма, данные из набора по MODIS (1B) и по MSI (1C).

2A



2B



2C

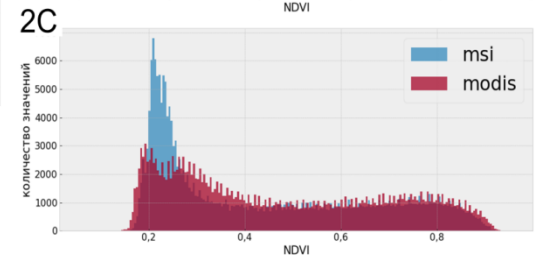
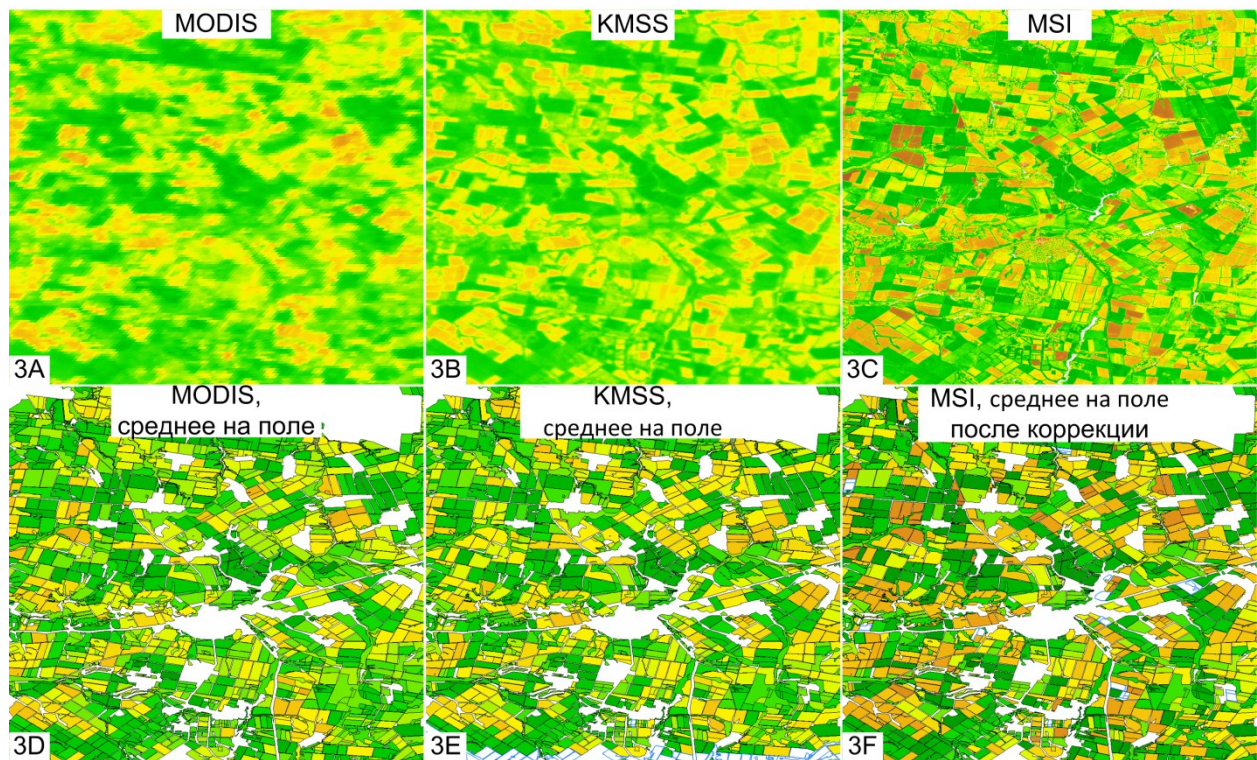


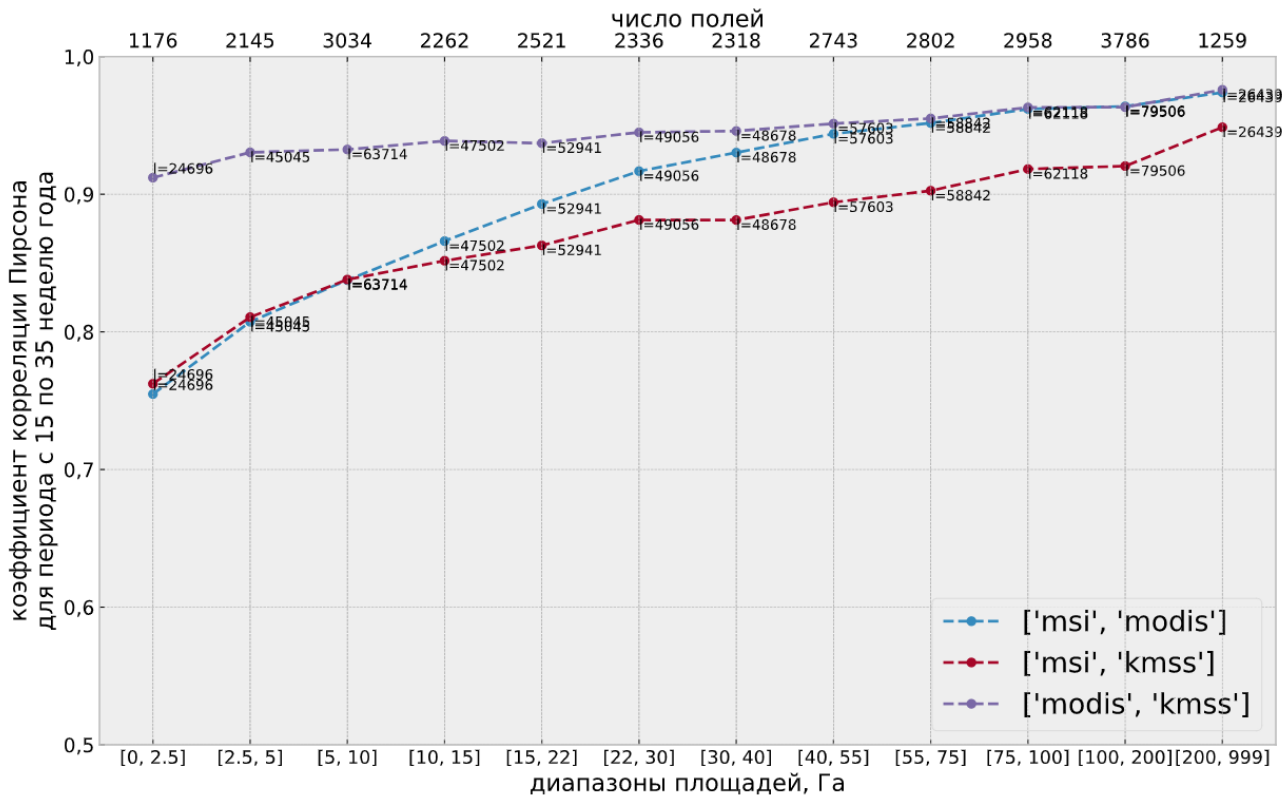
Рисунок 2. Особенности приведения значений индекса NDVI по MSI к MODIS. 2A – график функции коррекции. 2B, 2C - гистограммы среднего значения индекса NDVI на крупных полях (площадью более 75Га) по данным MSI и MODIS до (2B) и после (2C) применения функции коррекции.

Расчет осредненного значения NDVI по трем наборам данных на каждом поле из выборки



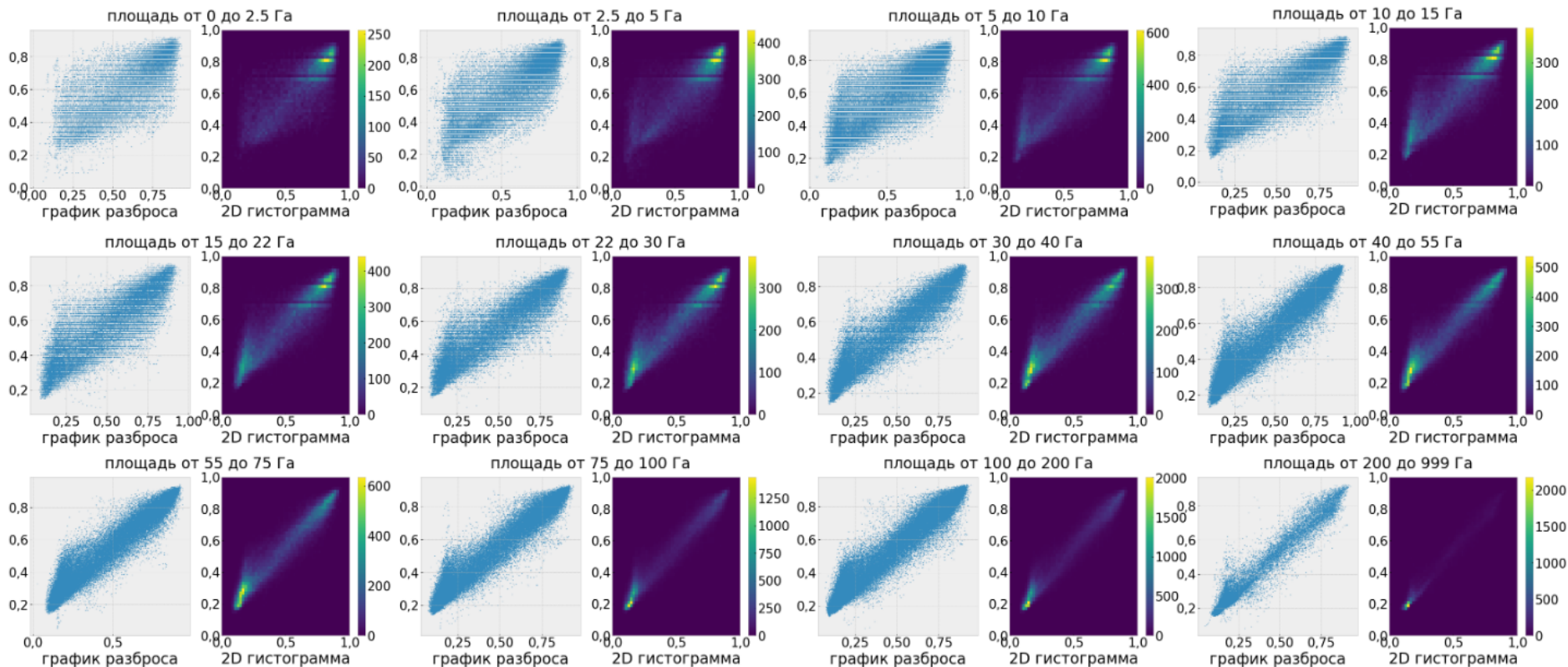
Данные индекса NDVI на 3 июля 2020 года по трем использованным наборам данных. Исходные данные по MODIS (3A), KMCC (3B), MSI (3C). По той же территории поля, раскрашенные в той же палитре в зависимости от полученного для них значения среднего индекса NDVI по MODIS (3D), KMCC (3E), MSI (3F). Данные по MSI после применения функции коррекции.

Корреляция между разными наборами в зависимости от площади полей



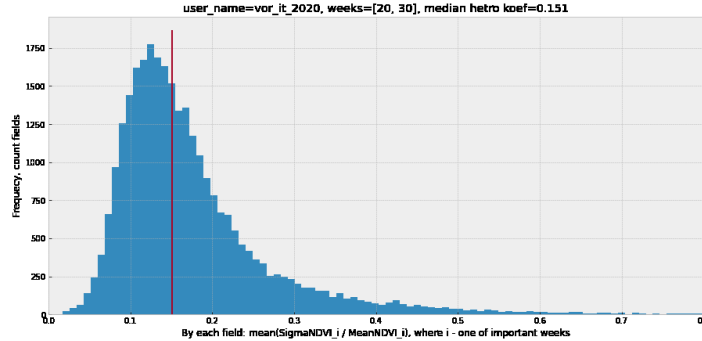
Графики изменения коэффициента корреляции Пирсона между разными наборами в зависимости от площади полей. Получены по выборке полей в разных регионах, с учетом периода с 15-й по 35-ю недели года. По оси ординат — значения коэффициента корреляции Пирсона. По оси абсцисс снизу подписан диапазон площади полей (от, до). По оси абсцисс сверху приведено суммарное число полей такой площади, участвовавших в расчете. Рядом с каждой точкой подписано участвовавшее в расчете число независимых измерений по всем неделям и всем полям диапазона.

Двумерные гистограммы в зависимости от размера полей

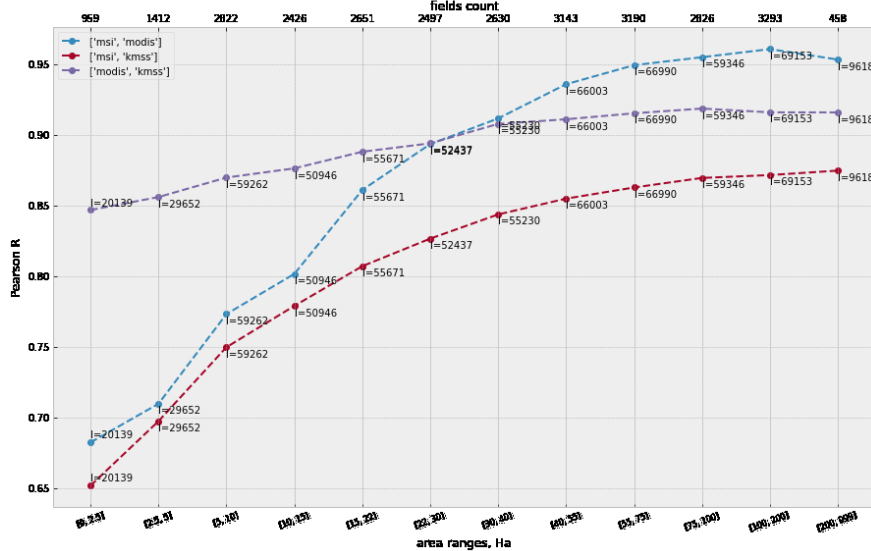


Графики разброса (слева) и двумерные гистограммы (справа) средних значений индекса NDVI в паре MSI-MODIS по каждому диапазону площадей, от малых, площадью менее 2,5 Га, до крупных, площадью более 200 Га. Везде по оси абсцисс данные набора по прибору MSI, по оси ординат – данные набора по прибору MODIS

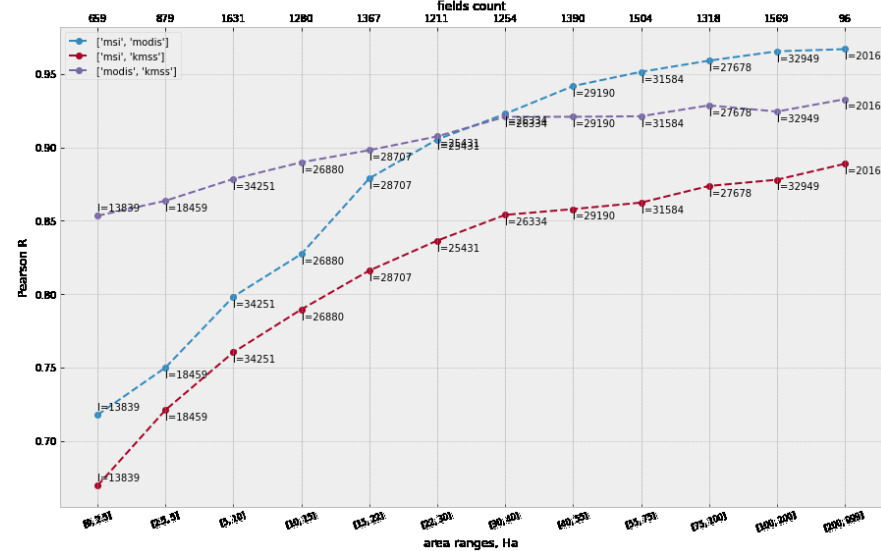
Влияние на корреляцию разных факторов. Исключение неоднородных полей



Correlation for user_name=vor_it_2020, weeks=[15, 35], without filter to heterogeneity



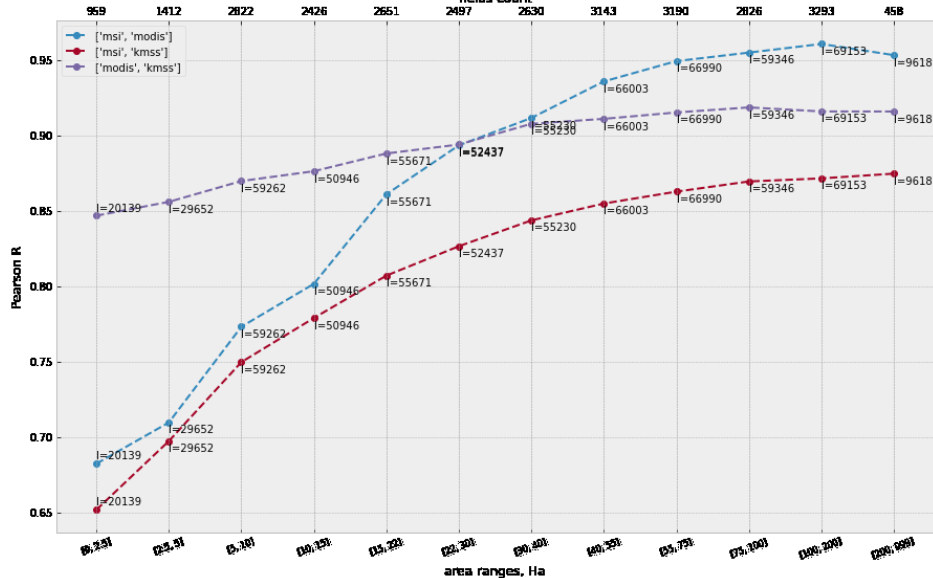
Correlation for user_name=vor_it_2020, weeks=[15, 35], heterogeneity koef<0.179 (median by msi)



Влияние на корреляцию разных факторов. Разные регионы

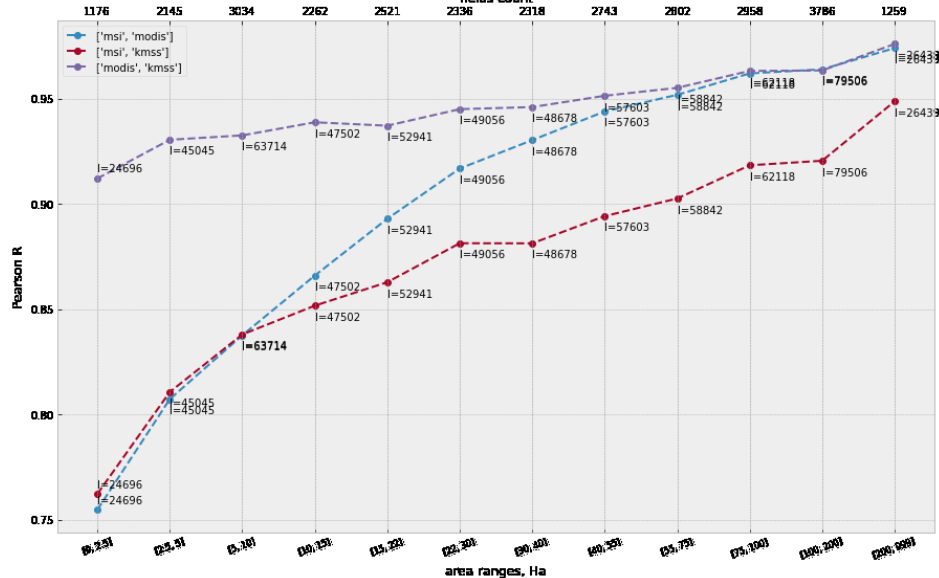
Выборка в разных регионах

Correlation for user_name=vor_it_2020, weeks=[15, 35], without filter to heterogeneity

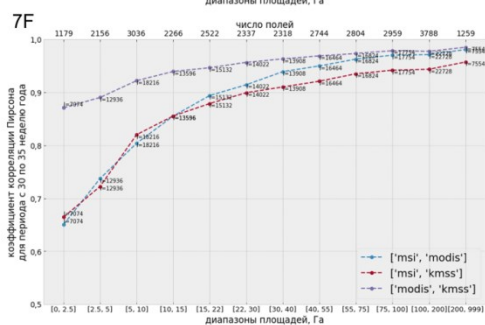
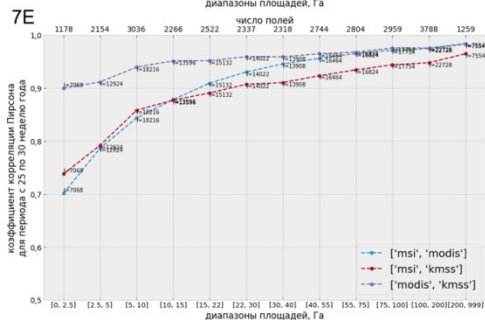
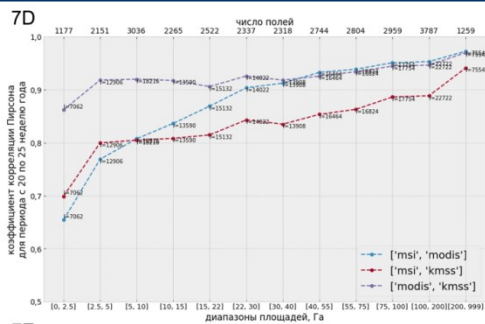
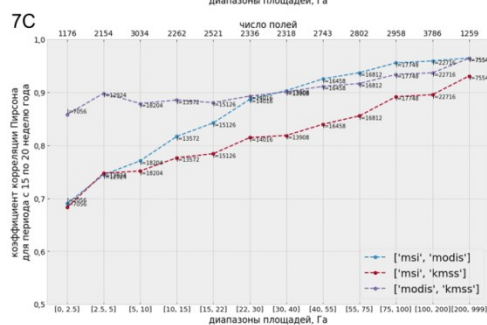
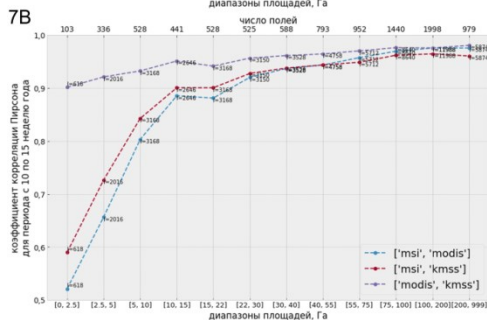
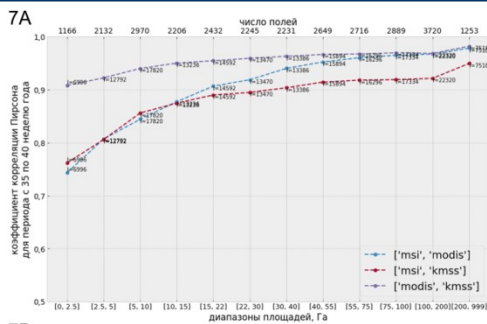


Выборка только по Воронежской области

Correlation for user_name=rosstat_fproc, weeks=[15, 35], without filter to heterogeneity



Влияние на корреляцию разных факторов. Влияние учета различных периодов года



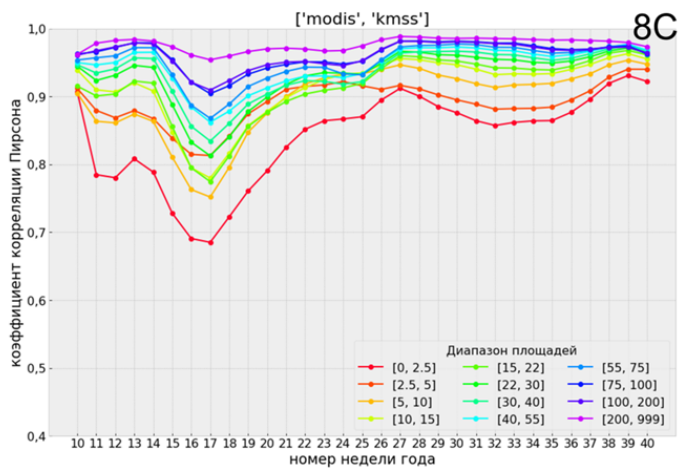
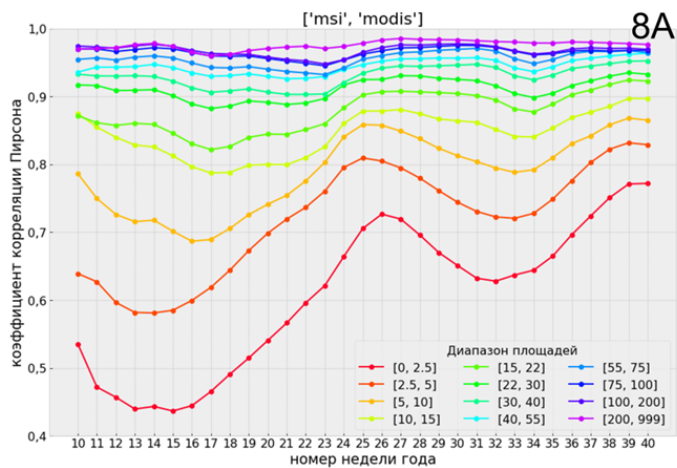
Графики изменения коэффициента корреляции Пирсона между разными наборами в зависимости от площади полей. Получены по выборке полей в разных регионах, с учетом периодов с 10-й по 15-ю (7A), с 15-й по 20-ю (7B), с 20-й по 25-ю (7C), с 25-й по 30-ю (7D), с 30-й по 35-ю (7E), с 35-й по 40-ю неделю года. По оси абсцисс снизу подписан диапазон площади полей (от, до). По оси абсцисс сверху приведено суммарное число полей такой площади, участвовавших в расчете. Рядом с каждой точкой подписано участвовавшее в расчете число независимых измерений по всем неделям и всем полям диапазона.

Влияние на корреляцию разных факторов. Влияние учета различных периодов года

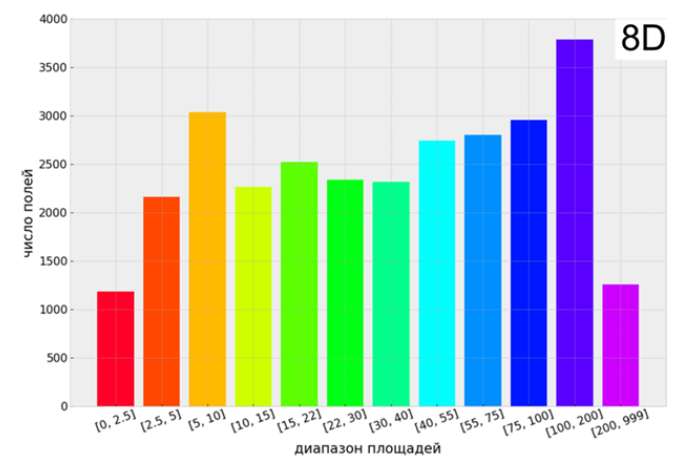
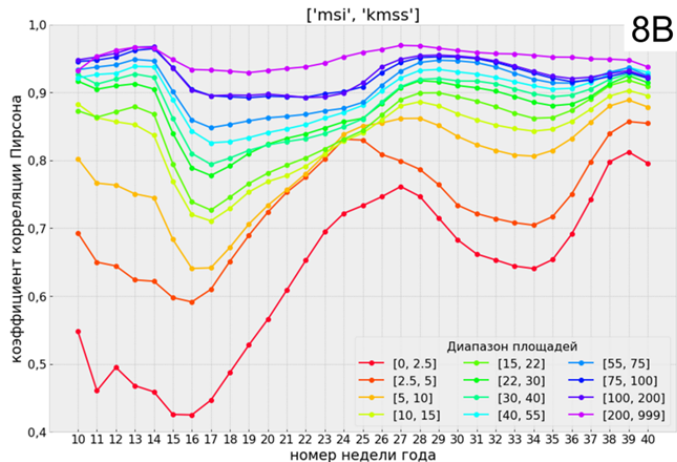
Основным результатом анализа влияния учета различного периода года является тот факт, что, несмотря на высокую корреляцию для всех групп площадей при учете всего сезона вегетации, в отдельные периоды года корреляция падает для полей малого размера. Например, для периода с 10-й по 15-ю недели на рисунке 7А в паре MSI-MODIS для группы полей с площадями менее 2,5 Га коэффициент корреляции составил чуть более 0,5, а для группы 2,5-5 Га равен 0,65. Такое снижение корреляции для тех же групп полей по сравнению с другими периодами объясняется тем, что в начале года происходит разрозненная распашка мелких полей, которые на данных MODIS неразличимы. Однако при изучении всего сезона вегетации в анализ попадают и более поздние даты, когда значения внутри поля сравнимы с окружением, что приводит к сопоставимым значениям между наборами с разным пространственным разрешением. Как следствие, при анализе всего периода вегетации получаются высокие значения корреляции даже для полей с маленькой площадью. Однако из этого нельзя сделать вывод о пригодности данных низкого пространственного разрешения для анализа полей с маленькой площадью, ведь при этом могут быть пропущены все ключевые особенности поведения объекта, проявляющиеся только в отдельные периоды.

Чтобы на одинаковых основаниях оценить корреляции в каждой группе площадей от периода наблюдения, были построены зависимости, приведенные далее.

Изменение корреляции независимо в каждую неделю года для каждой группы площадей



Графики изменения коэффициента корреляции Пирсона в парах MSI-MODIS (8A), MSI-KMCC (8B), MODIS-KMCC (8C) независимо в каждую неделю года для каждой группы площадей полей. По оси ординат – значения коэффициента корреляции Пирсона. По оси абсцисс – недели года. Линии разного цвета соответствуют указанному в легенде диапазону площадей (от, до). На рисунке 8D гистограмма количества полей в каждом диапазоне.



Изменение корреляции независимо в каждую неделю года для каждой группы площадей

Как видно из графиков, для полей с небольшой площадью корреляция в начале и конце сезона существенно ниже, чем в середине. Это поясняется уже отмеченной особенностью для таких полей сопоставлением значений внутри и вне контура. Из графиков можно сделать основные выводы исследования о пригодности использования наборов данных с разным пространственным разрешением при мониторинге объектов. Точный критерий пригодности данных с низким пространственным разрешением для анализа объекта конкретной площади зависит от задачи. Однако, если принимать данные из набора по MSI как эталон, то можно ориентироваться на значения, приведенные на графиках и в таблице.

Значения коэффициента корреляции Пирсона в парах MSI-MODIS и MSI- KMCC в зависимости от площади полей

коэффициент корреляции Пирсона		диапазон площадей, [от, до], Га											
		[0, 2.5]	[2.5, 5]	[5, 10]	[10, 15]	[15, 22]	[22, 30]	[30, 40]	[40, 55]	[55, 75]	[75, 100]	[100, 200]	[200, 999]
минимальный за период вегетации	MSI-MODIS	0,43	0,58	0,68	0,78	0,82	0,88	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95
	MSI-KMCC	0,42	0,59	0,64	0,71	0,72	0,77	0,79	0,82	0,84	0,89	0,89	0,92
средний за период с 15 по 35 неделю	MSI-MODIS	0,75	0,80	0,83	0,86	0,89	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97
	MSI-KMCC	0,76	0,81	0,83	0,85	0,86	0,88	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,94
средний за период с 10 по 40 неделю	MSI-MODIS	0,61	0,70	0,82	0,87	0,88	0,91	0,92	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97
	MSI-KMCC	0,66	0,69	0,82	0,87	0,87	0,90	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95

Заключение

При учете ряда данных за весь сезон вегетации результаты корреляционного анализа показали общую высокую согласованность среднего значения индекса NDVI на поле по всем использованным наборам данных. Полученные значения практически не зависят от региона исследования, шага группировки по площади, учета однородности полей, коррекции абсолютных значений между наборами. Однако корреляция существенно падает при анализе данных в отдельные периоды года. Можно заключить, что при анализе на основе средних по объекту значений временное разрешение наблюдений так же важно, как и пространственное разрешение.

Полученные значения коэффициента корреляции говорят о том, что для полей более 10-15 Га ход среднего индекса NDVI имеет схожие тренды по данным с пространственным разрешением 250, 60 и 10 м/пиксель, хотя они могут и отличаться в абсолютных значениях. Для полей размера 5-10 Га соответствие уже значительно хуже. Для полей менее 5 Га присутствуют большие различия в период наименьших значений индекса NDVI, соответствующих распахке. Точный критерий пригодности данных с низким пространственным разрешением для анализа объектов определенной площади с помощью осредненных в их границах значений зависит от задачи и используемого для анализа периода года.

Работа выполнена в рамках темы «Мониторинг», госрегистрация №
122042500031-8.