

Оценка пространственно-динамической дифференциации экосистем Арктических хасыреев на основе расчета спектральных индексов по данным космической съемки

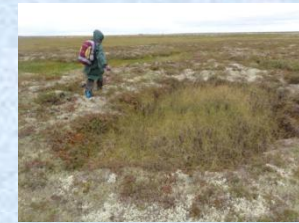
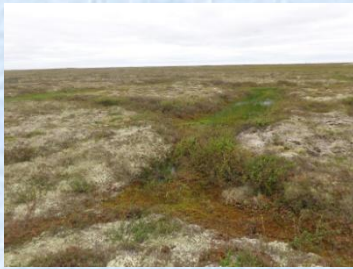
Н.В. Кобелева (1), Рогачев С.А. (2), Е.Ф. Чичкова (2)

(1) Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Российская Федерация

(2) Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

XVIII Всесоюзная Открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 16-20 ноября 2020 года, Москва, ИКИ РАН

Район исследования : Тазовский полуостров. Западная Сибирь. Модельный участок **А**

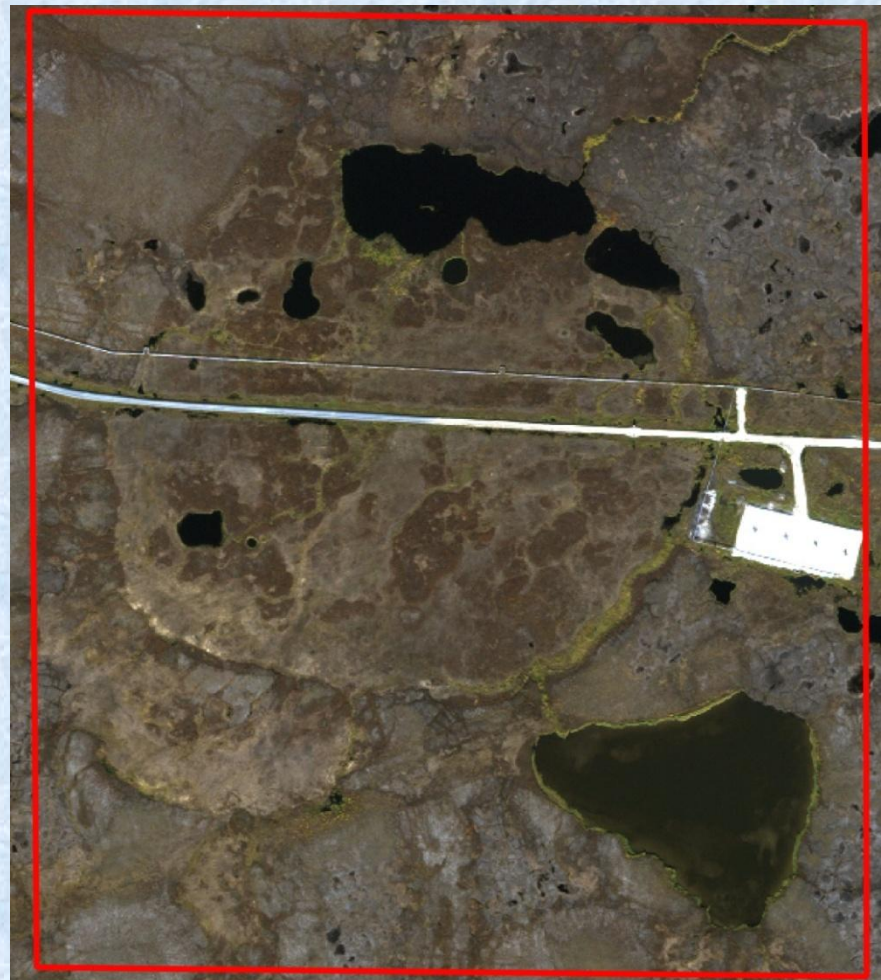


Хасыреи – это спущенные термокарстовые озера.

Исходные данные - снимки КА WorldView хасырея 4 модельного участка А



RGB –изображение с КА WorldView-2 ,
15 июля 2016 г.



RGB –изображение с КА WorldView-3 –
5 сентября 2016 г.

Формула сходства между типами экосистем

$$r_{k,l} = \frac{2 \sum_{j=1}^t \min(x_{k_i}, x_{l_j})}{\sum_{j=1}^t x_{k_i} + \sum_{j=1}^t x_{l_j}}$$

где: $r_{k,l}$ - мера сходства между k и l типами выделов;
 x_{k_i} - значение проективного покрытия вида j в k описании;
 x_{l_j} - значение проективного покрытия вида j в l описании;
 t – общее количество видов.

Структура экосистемы

- Структура – распределение типов экосистем в пространстве.
- Структура экосистемы имеет определенную площадь выявления – наименьшую площадь, на которой развивается типичная композиция фитоэкосистем с присущими им горизонтальными и вертикальными параметрами.
- Это элемент криогенной региональной экосистемы, которая, как правило, гетерогенна.
- Элемент криогенной региональной экосистемы есть наименьшее закономерное пространственное размещение элементарных типологических экосистем, в различных сочетаниях многократно повторяющихся в пространстве.

Формула коэффициента сходства между типами структур

$$G_{st_{k,l}} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n r_{k_i l_j} \times \min(S_{k_i}, S_{l_j})}{n \times m}$$

где: $G_{st_{k,l}}$ - коэффициент сходства между k и l типами структур;

$r_{k_i l_j}$ - мера сходства между k_i и l_j типами выделов;

S_{k_i} - относительная площадь k_i типа выдела в типе структуры k ;

S_{l_j} - относительная площадь l_j типа выдела в типе структуры l ;

n – количество типов выделов в k типе структуры;

m – количество типов выделов в l типе структуры.

Основные технические характеристики спектрометра КА WorldView-2 в режиме съемки Visible and Near Infrared

Пространственное разрешение в надире: панхроматический режим (0.5- 0.9 мкм) - 0,48 м ; мультиспектральный режим - 1,84 м

Мультиспектральный режим съемки (мкм)	Обозначение канала
синий: 0,45–0,52	b2
зеленый: 0,52–0,59	b3
красный: 0,63–0,69	b5
ближний ИК (1): 0,76–0,90	b7
дополнительные каналы:	
фиолетовый: 0,423–0,453	b1
желтый: 0,6–0,64	b4
крайний красный: 0,7–0,73	b6
ближний ИК (2): 0,9–1,05	b8

Спектральные индексы (значения отношений спектральных комбинаций)

1. Первая группа индексов – структурная организация экосистем.

NHFD = $(b_6 - b_1) / (b_6 + b_1)$ – показатель неоднородности объектов. Индекс позволяет классифицировать региональные экосистемы: комплексы типологических экосистем.

2. Вторая группа индексов – анализ состояния биоты, как ядра экосистемы.

2.1 **NDVI** = $(b_7 - b_5) / (b_7 + b_5)$ – нормализованный разностный вегетационный индекс;

2.2 **SIPI** = $(b_7 - b_1) / (b_7 + b_5)$ - индекс структурных нечувствительных пигментов. Индекс чувствителен к обнаружению в соотношении объемных каротиноидов (напр., альфа-каротин и бета-каротин);

2.3 **FCI** = $(b_7 - b_6) / (b_7 + b_6)$ – индекс лесов и урожая оптимально подходит для наблюдения и анализа состояния растительного покрова по оценке содержания хлорофилла, протеина и азота;

2.4 **PSSR** = $(b_7 - b_1) / (b_7 + b_1)$ - коэффициент характерных пигментов создан для мониторинга здоровья растительности, обнаружения их стрессового состояния.

3. Третья группа индексов – характеристика факторов окружающей среды.

3.1 **NDWI** = $(b_7 - b_5) / (b_7 + b_5)$ - нормализованный разностный водный индекс. Идентифицирует водные территории;

3.2 **NDSI** = $(b_3 - b_4) / (b_3 + b_4)$ - нормализованный разностный почвенный индекс. Идентифицирует области, в которых почва ничем не заслонена и находится «на переднем плане»;

3.3 **WV-II** = $(b_3 * b_4) / (b_2 * 1000)$ - индекс железа. Используется для обнаружения оксидов железа.

Показатель индексной ниши – инвариант экосистемы

Характеристика в качестве одного показателя, совокупности индексов для региональной единицы С определены с помощью средневзвешенных по площади значений градаций индексов ($U_{E_t(k)}^{(c)}$) по каждому из индексов (определение индексной ниши)

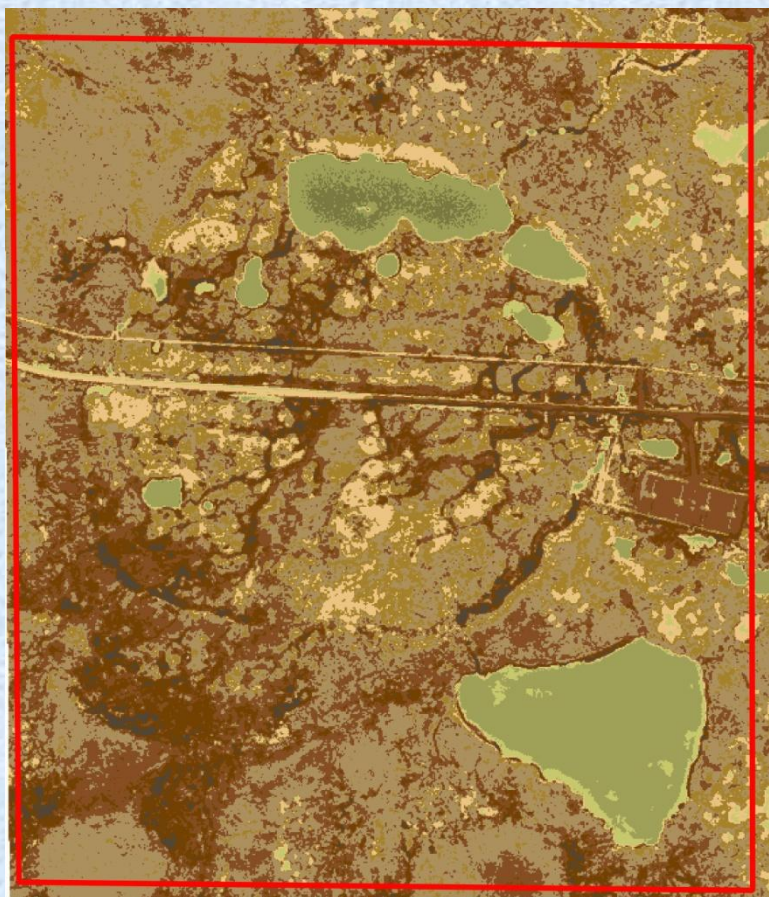
$$U_{E_t(k)}^{(c)} = \frac{\sum_{j=1}^{\eta^{(c)}} \sum_{i=1}^{\beta(E_t k)} X_{ij}^{(c)} \cdot E_{t(k)i}}{\sum_{j=1}^{\eta^{(c)}} \sum_{i=1}^{\beta(E_t k)} X_{ij}^{(c)}}$$

где $X_{ij}^{(c)}$ - встречаемость j-го типа фитоэкосистемы с градацией i индекса $E_{t(k)}$, причем k номер градации индекса,

$\eta^{(c)}$ - количество анализируемых типов фитоэкосистем в региональной единице С

Первая группа индексов – динамика структурной организации экосистем

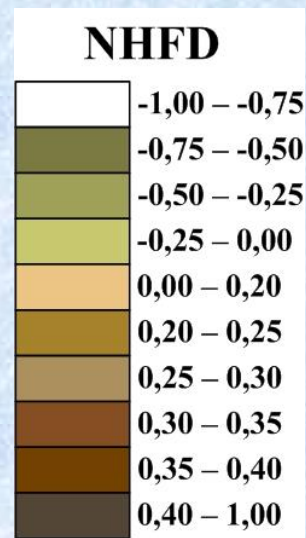
NHFD - показатель неоднородных объектов



15 июля 2016 года



5 сентября 2016 года



Изменение NHFD



Красному цвету соответствуют пиксели, которые имеют отрицательную динамику.
Синему цвету соответствуют пиксели, имеющие положительную динамику.

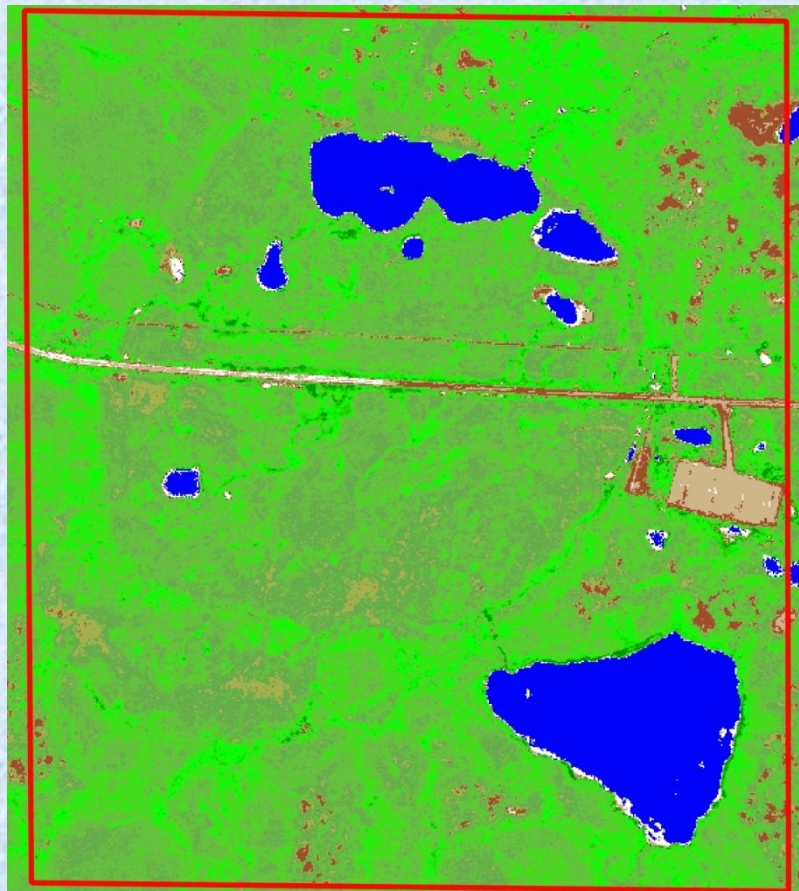
Для тундровых экосистем NHFD показывает наличие комплексности на дренированных и слабодренированных участках. Также он выявляет степень обводненности на песчаных отложениях.

Вторая группа индексов – динамика состояния биоты

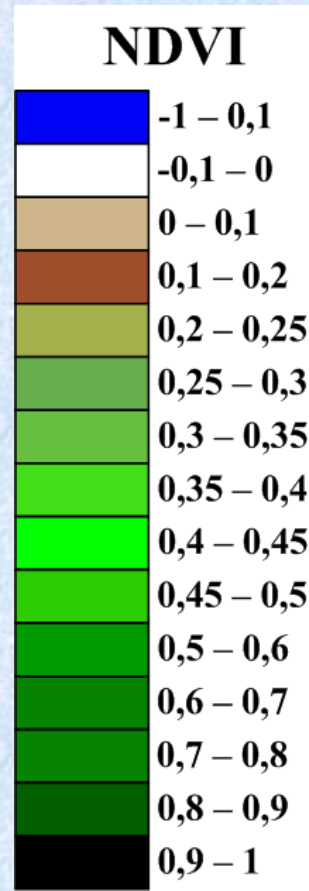
NDVI - нормализованный разностный вегетационный индекс



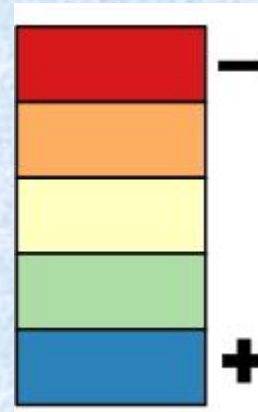
15 июля 2016 года



5 сентября 2016 года



Изменение NDVI

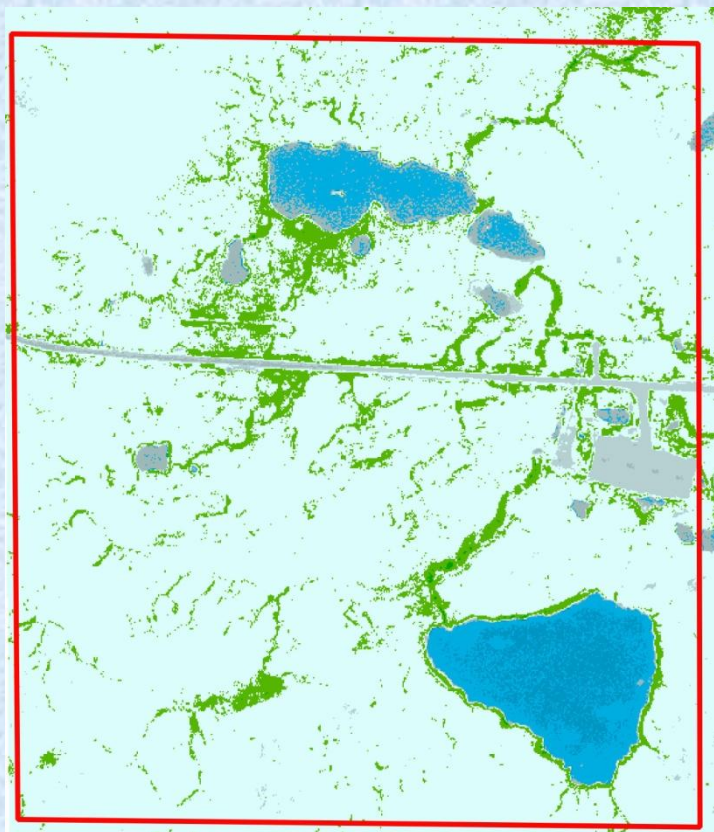


Красному цвету соответствуют пиксели, которые имеют отрицательную динамику.

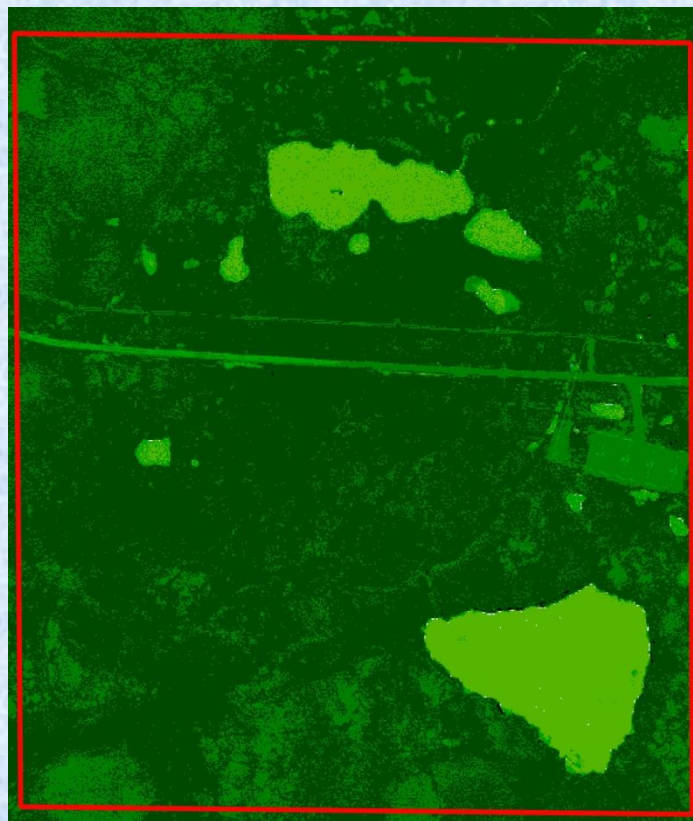
Синему цвету соответствуют пиксели, имеющие положительную динамику.

NDVI выявляет структурные особенности хасыреев, отражает пространственные характеристики лишайникового покрова, показывает песчаные отмели в речных долинах, отражает пространственную структуру среднебугристых заболоченных экосистем, грив и межгивных понижений, дает представление о плотности и высоте кустарникового яруса в пойменных хасыреях.

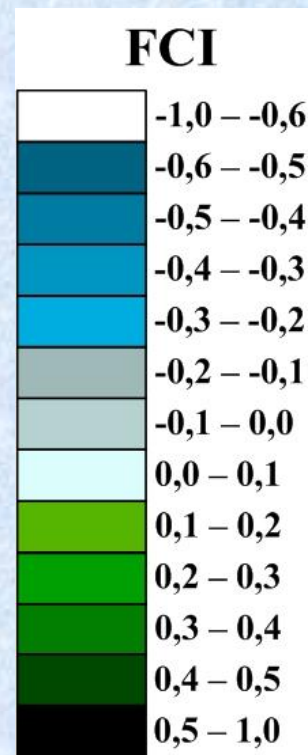
FCI – индекс деревьев и урожая



15 июля 2016 года

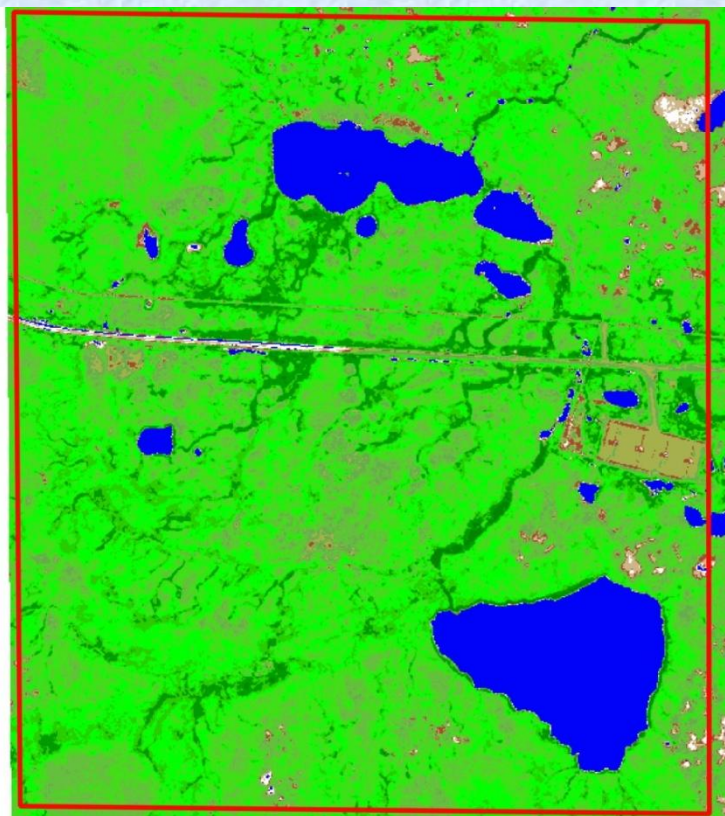


5 сентября 2016 года

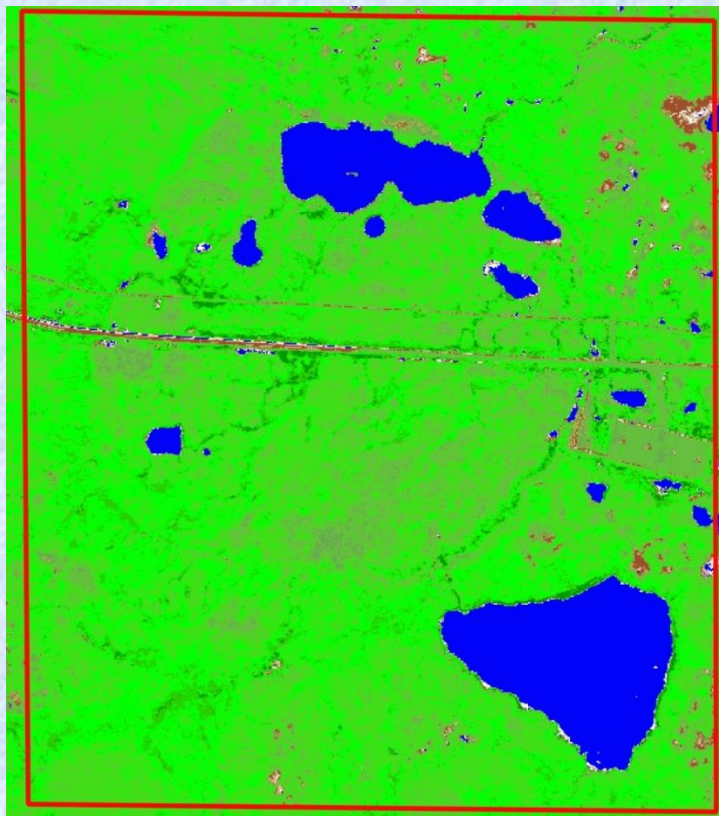


Хорошо выявляет структуру низинных болот. Четко отражает распределение лиственничных пород, даже точечных, а изменение границы их распространения зависит от изменения состояния мерзлых грунтов, т.е. индекс косвенным путем может характеризовать динамические процессы, связанные с изменением климата.

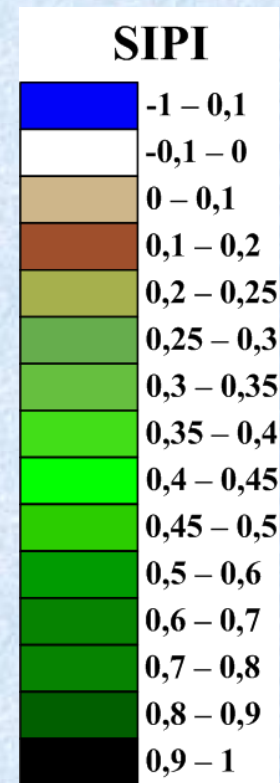
SIPI - индекс структурных нечувствительных пигментов



15 июля 2016 года

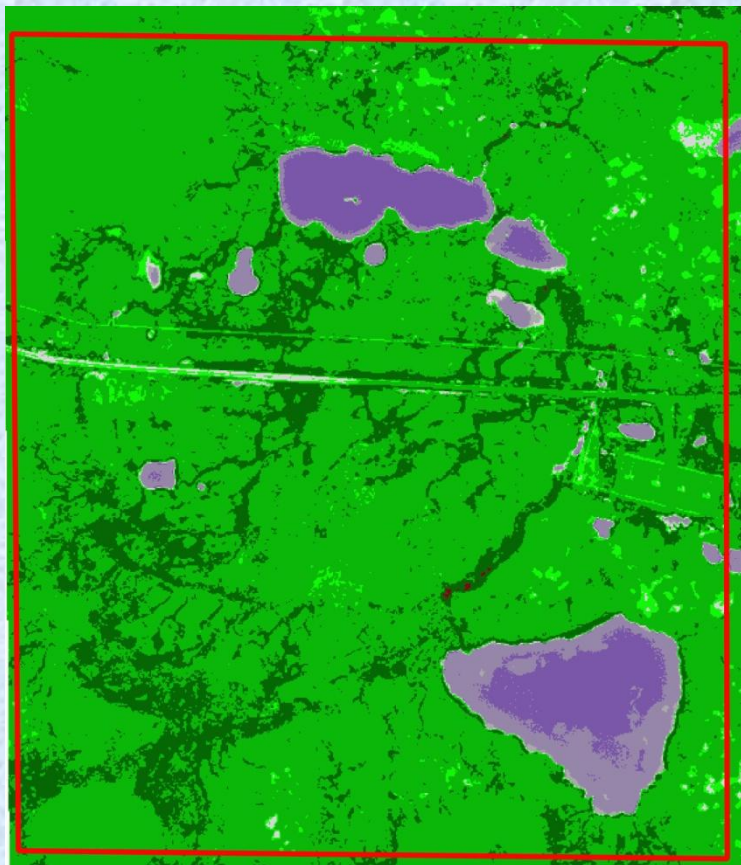


5 сентября 2016 года

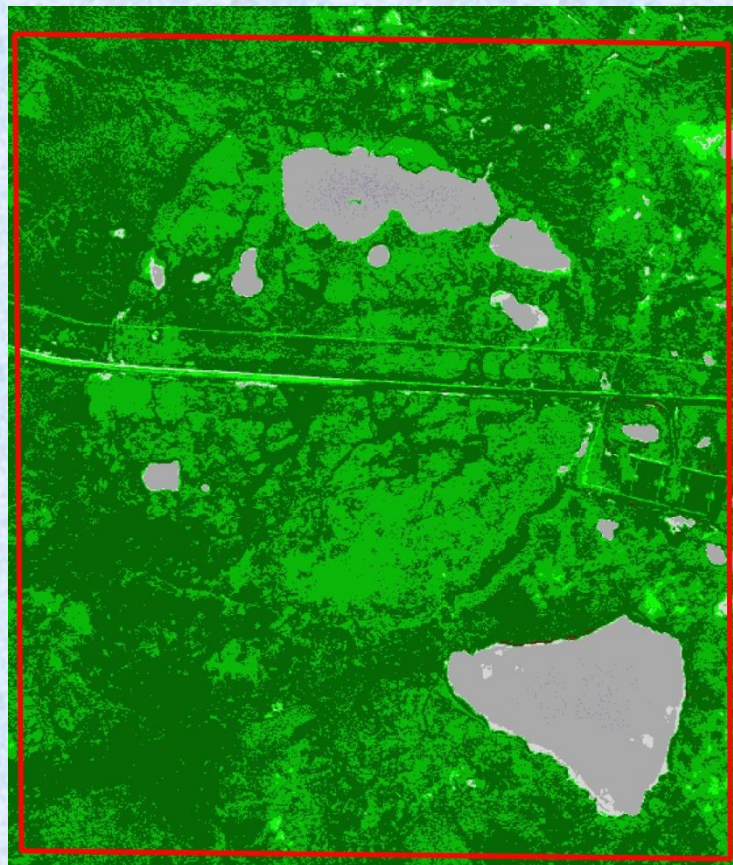


Индекс для тундровых фитоэкосистем показывает не только пространственную структуру типологических единиц, но и объемную его характеристику. При этом он отражает как высокие и хорошо сомкнутые ольховники, так и лишайниковые сообщества на крупнобугристых торфяниках. Также он отражает антропогенные факторы (гидропесчаные карьеры, технические объекты, которые также характеризуются параметром объемности.

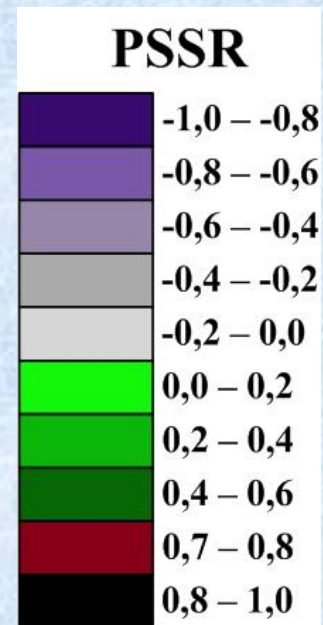
PSSR – индекс характерных пигментов



15 июля 2016 года



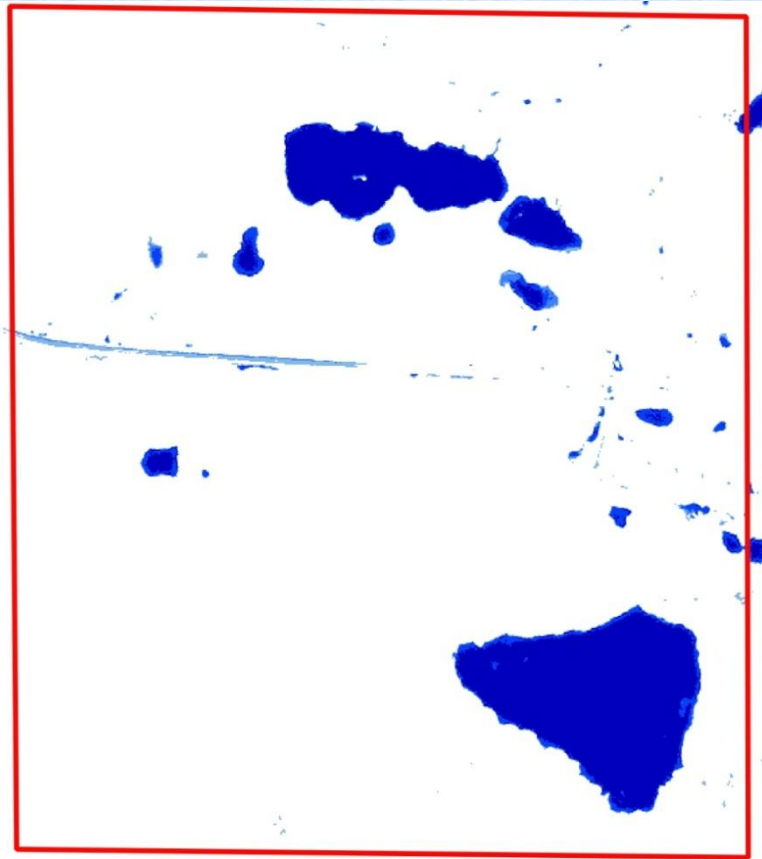
5 сентября 2016 года



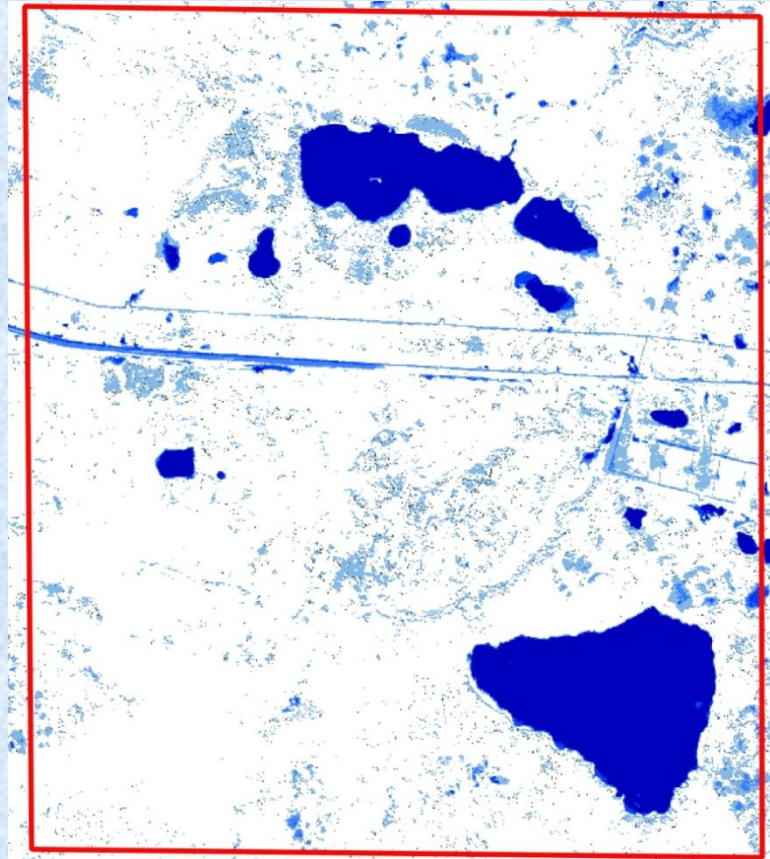
Интерпретация индекса характерных пигментов перекликается с индексом структурных нечувствительных пигментов (SIPI): оба индекса хорошо выявляют структуру низинных болот и степень антропогенности экосистем.

Динамика факторов окружающей среды

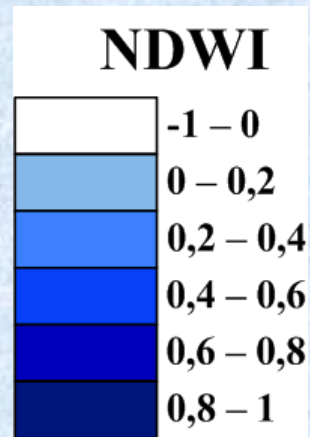
NDWI - нормализованный разностный водный индекс



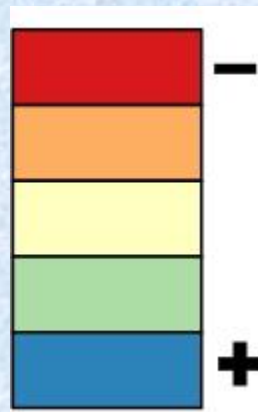
15 июля 2016 года



5 сентября 2016 года



Изменение NDWI



Красному цвету соответствуют пиксели, которые имеют отрицательную динамику.

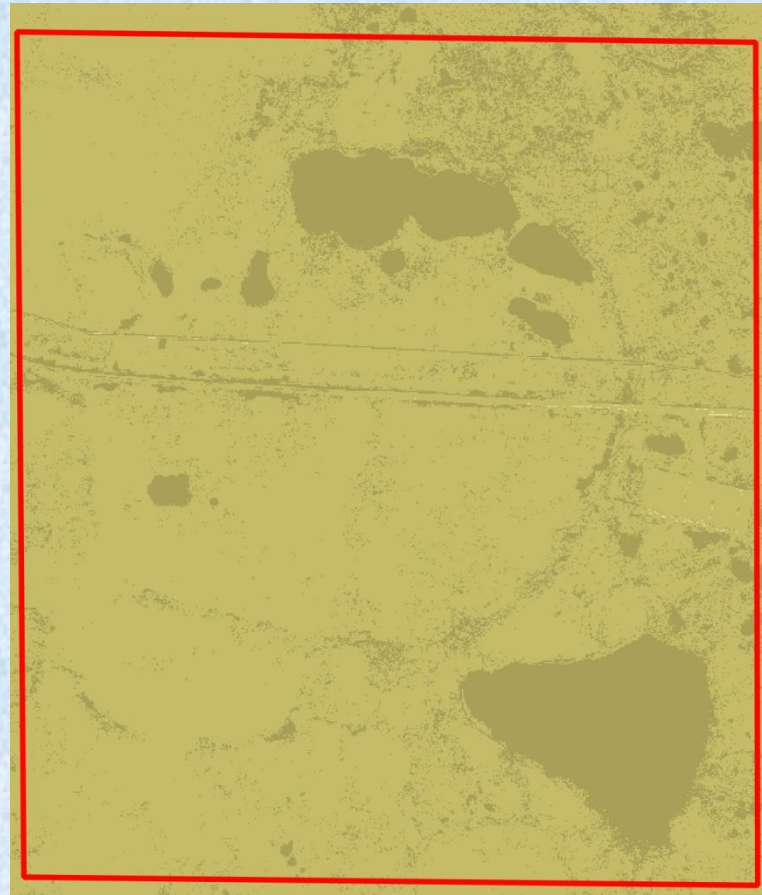
Синему цвету соответствуют пиксели, имеющие положительную динамику.

NDWI дает представление о структуре заболоченных и обводненных комплексах фитоэкосистем. Дает представление о глубине обводненных объектов: дифференцирует мочажины, блюдца воды, отмель, старицы и обводненные участки поймы.

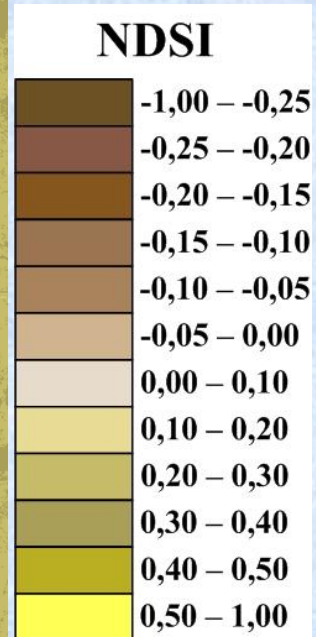
NDSI - нормализованный разностный почвенный индекс



15 июля 2016 года



5 сентября 2016 года



Изменение NDSI



Красному цвету соответствуют пиксели, которые имеют отрицательную динамику.

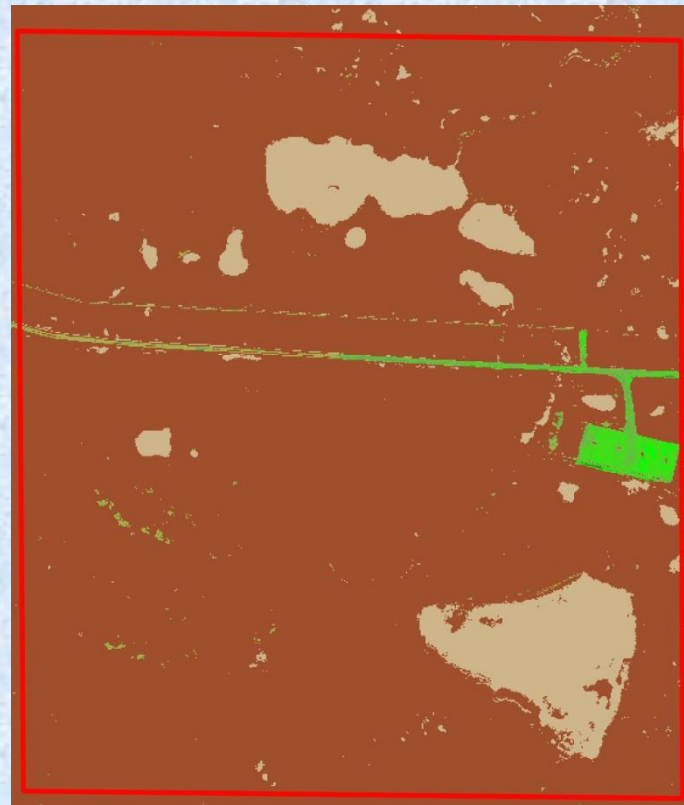
Синему цвету соответствуют пиксели, имеющие положительную динамику.

Отражает лишайниковые сообщества как на песках, так и торфяниках. Показывает степень присутствия в водоемах взвешенных частиц, а также наличие песчаного покрытия как естественного, так и антропогенного характера. Но самое главное его достоинство, связанное именно с тундровыми экосистемами, то что он отражает динамику температурного режима, через характер пучения грунтов, мощность которых, выявляется с помощью этого индекса.

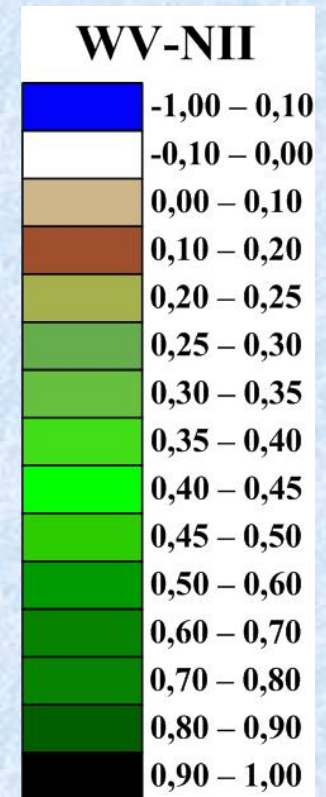
Индекс железа WV-NII



15 июля 2016 года



5 сентября 2016 года



Представленная шкала индекса железа прямо пропорционально отражает ее характеристики к значениям наличия большей концентрации различных соединений железа как в почве, так и в водной среде (подтверждается химическими анализами полевых образцов). Наибольшие показатели предложенной шкалы относятся к территориям водных объектов забора песка, так как с глубиной почвенных горизонтов увеличивается концентрация соединений железа.

Выводы

- В результате анализа значений спектральных индексов выявлено, что каждый из полученных индексов характеризует определенную грань содержания и развитие хасырейных экосистем с учетом степени мозаичности, возраста и антропогенной нагрузки.
- С их помощью можно характеризовать климатические изменения, возраст экосистем
- Показатели индексов позволили получить и фитоценотическую характеристику экосистем, то есть охарактеризовать содержание элемента биоты экосистемы.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!