**Возможности оценки динамики площадей открытого песка и кустарника в типичной тундре по снимкам Landsat**

*А.Г. Шматова*

Институт географии РАН, Москва

**Ключевые слова:** остров Колгуев, динамика растительности, перевыпас оленей, дистанционное зондирование

Глобальные изменения климата наиболее значительно проявляются в Арктической зоне. Многочисленными исследованиями показано возрастание значений вегетационного индекса NDVI для ряда территорий (Елсаков, 2017; Лавриненко, 2013; Позеленение…, 2018). Однако намного меньшее внимание уделяется детальному разбору причин «позеленения» Арктических территорий. В связи с этим мы решили проследить как меняется площадь кустарника – наиболее продуктивного растительного сообщества – на Колгуеве. Методически было удобно одновременно проследить изменение площадей развеваемого песка, связанного с численностью оленей. Здесь мы представим некоторые проблемы, с которыми мы столкнулись во время работы и их причины.

Для работы были скачены космические снимки Landsat 5**-**8, находящиеся в открытом доступе, за период 1994-2017 г. Среди них с удовлетворительным покрытием территории (без облаков) было отобрано всего 10 снимков, то есть в среднем – через год. В результате анализа распределения снимков по сезонам, был выбран период второй-третьей декады июля - первой декады августа, так как в эти даты чаще попадались снимки с минимальной облачностью. После обрезки областей, непригодных для обработки, полностью покрытой всеми снимками, взятыми для работы, оказалась только средняя часть острова.

Изучение проводили с использованием методов дистанционного зондирования и полевого дешифрирования спутниковых снимков. Работа со снимками Landsat проводилась в комбинации красного и двух ближних инфракрасных каналов (пространственное разрешение 30 м). Эта комбинация дает наиболее выраженные цветовые контрасты, так как инфракрасные каналы позволяют наиболее точно дешифрировать различия во влажности и выделять водные объекты и пески, а сочетание красного и инфракрасного канала наиболее удобны для анализа растительности. Классификация космических снимков была проведена методом неконтролируемой классификации (IsoData), с экспертным присвоением значений полученным кассам, основанном на полевых данных (экспедиционные исследования проводили летом 2018г в центральной части острова). Для классификации снимков и первичной обработки был использован программный пакет SCANEX Image Processor.

Для достижения наилучшего результата классификацию проводили последовательно в 3 этапа. Сначала выделяли класс воды и песков, как наиболее контрастных по спектральным характеристикам. Затем пиксели, принадлежащие этим классам, удаляли (маскировали) на исходном снимке, тем самым сужая диапазон значений при последующей классификации и делая её более точной. На следующем этапе выделяли различные типы растительности. Наиболее контрастными были классы: сухих лишайниковых тундр, болот и сообществ с высокой фитомассой, куда попадали как кустарники (ивы), так и осоковые сообщества. Неконтрастным классом, образующим множество переходных форм с другими был класс, в который попадали типичные мохово-кустарничковые тундры. На 3 этапе для классификации оставлялись только кустарниковые и осоковые сообщества, поскольку их разделение было очень сложно, так как они обладают близкими спектральными характеристиками и образуют много переходных форм в ландшафте.

Для сравнения полученных результатов по годам, были выбраны площадки 5\*5 км в разных ландшафтах острова. Самые южные площадки – в местах наибольшего распространения кустарников. Северные – наименьшего. Площадки №1, 3 и 4 были локализованы в местах крупных песчаных раздувов. Итоговое положение выбиралась так, чтобы на нем отсутствовали крупные реки, вносившие разброс в значения площади песков и воды. Для каждой площадки была посчитана площадь открытого песка, воды и кустарников.

Полученные данные позволили выявить закономерности изменения площади открытых песков на вершинах сопок, возникающих в следствии нарушения почвенного покрова оленями и последующего развевания песка ветром. Практически на каждой площадке наблюдалось сначала возрастание площади открытых песков, а потом ее сокращение.

Известно, что в до 2012 г. численность оленей на острове была около 12 тыс., что почти в 2 раза превышало оленеемкость колгуевских пастбищ (Лавриненко, 2014). В 2012-2014 гг. произошел массовый мор олений. В результате, нагрузка на пастбища, резко спала и началось восстановление растительного покрова. В связи с этим были отдельно построены графики площади песков за период 1994 – 2011 и 2013 – 2017г. На них виден явный рост площади песков до 2007 г, а затем, после 2013 г, ее сокращение. Таким образом, в ряде случаев сокращение площади песков наблюдалось уже в 2011 г., а иногда и в 2009. Этот феномен на данном этапе трудно объяснить.

Нужно обратить внимание на то, что площадь открытых песков сократилась практически до значений 1994-1996 гг. То есть наблюдается быстрое зарастание открытых поверхностей. Это согласуется с полевыми наблюдениями: многие поверхности котлов выдувания почти на половину были покрыты тонкой коркой лишайника.

Анализ площадей, занимаемых кустарниками, по 5 площадкам показал, что на большинстве площадок (кроме самой северной) есть тренд увеличения площади, однако ни в одном случае изменения не были статистически значимыми.

Если сравнить значения площадей до 2002 года и после 2006, для площадок с наибольшим изменением, то наблюдается повышение средних за период значений. Однако, различия также статистически не достоверны.

Получив столь сильный разброс значений, мы решили проанализировать с чем он мог быть связан. Поскольку классификация проводилась автоматизировано, то есть машина сама определяла, где провести границу между контрастными пикселями, то мы предположили, что некоторые так же высокопродуктивные сообщества, в те года и сезон имели близкие спектральные характеристики.

Для выяснения причин были выбраны года 2009 и 2017 (за которые были получены высокие площади кустарника) и 2011 и 2015 (с пониженными значениями). Для начала, было необходимо выяснить, действительно ли в года с повышенными значениями площадей наблюдалось синхронное возрастание значений NDVI. Расчетные значения по нескольким выбранным годам это подтвердили. Далее, исходя из полевого опята, мы предположили, что увеличение площади происходит за счет растительных сообществ с большой долей осок, которые в зависимости от метеоусловий конкретного года могут давать обильную фитомассу. В связи с этим были проанализированы данные с метеостанции для выбранных годов за июль, то есть месяц, предшествовавший сьемке. Однако, корреляции со влажностью не было обнаружено. Тогда по данным с ресурса vega.science были получены кривые хода NDVI (по данным MODIS) и рассмотрено в какой период вегетации был сделан снимок. Однако, результаты так же получились несогласованные и объяснить разброс значений с этой стороны так же не удалось.

Таким образом, была выявлена проблема невозможности получения многогодового ряда снимков, сделанных в пик вегетации. Так как для достаточно больших площадей безоблачные снимки могут в принципе отсутствовать за некоторые года.

В работе были получены достоверные данные динамики площади раздуваемых песков, которая показывает хорошую корреляцию с численностью оленей; также данные показали быстрое зарастание открытых развеваемых песков. Результаты показали хорошую применимость метода для оценки площади песков; при оценке площадей кустарниковых сообществ присутствует большая погрешность, так что метод требует модификации. Сложность выявления динамики площадей отдельных растительных сообществ оказалась связана с высоким влиянием на получаемый результат увлажненности территории в период съемки, что сказывается на излучательной способности в инфракрасном диапазоне, без которого не обходится анализ растительности.

**Источники финансирования:** работа выполнена по гранту РФФИ №18-05-60057 «Позеленение» тундры как драйвер современной динамики арктической биоты».

**Литература:**

1. *Елсаков В.В.* Пространственная и межгодовая неоднородность изменений растительного покрова тундровой зоны Евразии по материалам съёмки MODIS 2000–2016 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 56–72
2. *Лавриненко И. А., Лавриненко О. В.* Влияние климатических изменений на растительный покров островов Баренцева моря // Труды Карельского научного центра РАН № 6. 2013. С. 4–16.
3. *Лавриненко О.В.* Растительный покров оленьих пастбищ острова Колгуев преемственность исследований и современные подходы / О.В. Лавриненко, И.А. Лавриненко // Труды международной научной конференции, посвященной к 300-летию основания БИН РАН: Ботаника: История, теория, практика. – СПб., 2014. – с. 124–131.
4. "Позеленение" тундры как драйвер современной динамики арктической биоты / *А. А. Тишков, Е. А. Белоновская, М. А. Вайсфельд и др.* // Арктика: экология и экономика. — 2018. — № 2 (30). — С. 31–44.