Особенности тренда вегетационного индекса NDVI растительного покрова лесотундры Якутии

Варламова Е.В.^{1,2}, мнс

*¹Институт космofизических исследований и аэрoномии
им. Ю.Г. Шафера СО РАН,*

*²Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова,
г. Якутск*

E-mail: varlamova@ikfia.ysn.ru

Аннотация

Проведены исследования особенностей трендов вегетационного индекса NDVI растительного покрова лесотундры Якутии по спутниковым данным (1982-2015 гг.). Карта распределения тренда сезонных (май-сентябрь) значений NDVI демонстрирует, что на севере Якутии наблюдается обширная область с наиболее высокими показателями (~10-15%) тренда NDVI. Анализ среднемесячных (с мая по сентябрь) вариаций NDVI лесотундры на севере Якутии показал, что существенный вклад в тренд сезонных NDVI вносит устойчивый рост (на ~26%) его майских значений за последние 12 лет (2004-2015 гг.). Вариации майских значений NDVI хорошо согласуются ($R=0,9$) с изменениями майской температуры воздуха, который также имеет устойчивую тенденцию роста (на ~6,1⁰C). Следует отметить отсутствие связи вариаций NDVI с осадками, что вероятно обусловлено невысоким их уровнем для исследуемой территории.

Ключевые слова. NOAA, GIMMS, NDVI, вегетационный индекс, лесотундра

Введение

Длинные ряды спутниковых данных AVHRR/NOAA (продукты LTDR, GIMMS) позволяют отслеживать изменения в окружающей среде, вызванные процессами глобального изменения климата [1]. Растительный покров является одним из наиболее чувствительных природных индикаторов таких изменений. В работах [2-7] приводятся результаты исследований многолетних трендов состояния лесов и изменений фенологических сроков, показывающих, что за последние десятилетия наблюдаются существенные пространственно-временные изменения параметров растительного покрова (биофизических характеристик, характеристик фенологических ритмов). Целью работы является исследование особенностей трендов вегетационного индекса NDVI растительного покрова лесотундры Якутии за период 1982-2015 гг. по данным спутников NOAA.

Данные и методика

В работе использованы данные спутников NOAA (1982-2015 гг.) проекта GIMMS v.3 (Global Inventory Modeling and Mapping Studies), представляющие собой композиты 15-дневных максимальных значений NDVI [8]. Значения приземной температуры воздуха и атмосферных осадков за аналогичный период взяты из среднемесячного набора данных CRU TS v.4.01 [9]. Для выбора тестовых участков с однородным типом растительности использована цифровая карта наземных экосистем Северной Евразии [10].

Результаты и обсуждения

На основе данных GIMMS были рассчитаны средние значения вегетационного индекса NDVI за май-сентябрь, и построена карта линейного тренда NDVI Восточной Сибири за период 1982-2015 гг., представленная на рис. 1а. Цветовой кодировкой (см. легенду карты) с шагом 5% в диапазоне -15% – +15% показаны области с различными значениями прироста тренда NDVI. Как следует из рис. 1а, карта распределения тренда NDVI Восточной Сибири за период 1982-2015 гг. неоднородна – присутствует заметная градация положительных и отрицательных значений. Тем не менее, в целом, преобладает положительная динамика со средним ростом тренда NDVI около 4%. На севере Якутии (выше 64-й параллели) наблюдается обширная область с наиболее высоким приростом тренда NDVI (10–15%).

Рис. 1. а) карта тренда сезонных (май-сентябрь) значений NDVI за период 1982-2015 гг., прямоугольниками отмечены тестовые участки «З» и «В»; б) вариации сезонных значений NDVI участков «З» и «В» за период 1982-2015 гг. Штриховыми линиями показаны линейные тренды

Для исследования прироста тренда NDVI на севере Якутии в зоне лесотундры были выбраны тестовые участки (обозначены на рис. 1а как «З» и «В»). Участки характеризуются однородностью типов растительного покрова (редколесье лиственницы даурской в сочетании с тундровыми сообществами), схожими климатическими условиями (среднеголетняя среднегодовая температура воздуха на обоих участках -12°C , среднеголетняя сумма осадков составляет 290-300 мм) и равнинным рельефом.

Для тестовых участков «З» и «В» были построены вариации сезонных значений NDVI (рис. 1б). Графики указанных параметров (сплошные линии) имеют довольно изменчивый характер. Тем не менее, на участках «З» и «В» за исследуемый период наблюдается прирост NDVI на ~3% и ~13%, соответственно. В динамике вариаций NDVI можно выделить два периода: 1982-2004 гг. и 2004-2015 гг. В течение первого вариации NDVI обоих участков хорошо согласуются ($R=0,8$), однако отличаются абсолютными значениями (NDVI участка «З» выше «В»). При этом абсолютное значение NDVI участка «В» к концу уравнивается с NDVI участка «З». В течение второго периода NDVI участка «З» имеет довольно вариабельный характер, а на участке «В» наблюдается устойчивый рост значений NDVI без существенных вариаций. Следует отметить, что анализ среднемесячных (с мая по сентябрь) вариаций NDVI на участках показал, что наиболее

существенный вклад в прирост сезонных трендов NDVI вносят майские значения (до 7,5% на участке «З» и до 22% на участке «В»).

Анализ связи вариаций майских значений NDVI с метеопараметрами показал высокую корреляцию ($R=0,9$) с температурой воздуха и его отсутствие ($R=0$) с атмосферными осадками на обоих участках. На рис. 2 показаны вариации майских значений NDVI, температуры воздуха и атмосферных осадков для участков «З» (рис. 2а) и «В» (рис. 2б). Как видно из рис. 2а, б, на графиках трендов NDVI аналогично выражены два периода – 1982-2004 гг., когда тренд отсутствует или он минимален, и 2004-2015 гг., когда наблюдается положительная тенденция до 17% на участке «З» и устойчивый рост до 26% на участке «В». Аналогично, тренды температуры на участках «З» и «В» существенны во втором периоде и составили $5,4^{\circ}\text{C}$ и $6,1^{\circ}\text{C}$, соответственно.

Рис. 2. Вариации майских значений NDVI, температуры и осадков участков «З» (а) и «В» (б) за период 1982-2015 гг. Штриховыми линиями показаны линейные тренды

Выводы

На севере Якутии наблюдается обширная область с наиболее высокими показателями прироста сезонного тренда NDVI ($\sim 10\text{-}15\%$) за 1982-2015 гг.

Анализ вариаций NDVI тестовых участков показал, что существенный вклад в сезонный тренд NDVI вносит устойчивый рост (на 26%) его майских значений за последние 12 лет (2004-2015 гг.), коррелирующих ($R=0,9$) с вариациями и ростом (на $6,1^{\circ}\text{C}$) майской температуры воздуха. Корреляция NDVI с уровнем осадков не наблюдается, что вероятно обусловлено невысоким их уровнем для исследуемой территории.

Список литературы:

1. Stocker T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.), IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press. Cambridge. United Kingdom and New York. NY. USA. 1535 P.
2. Haibo Li, Cuizhen Wang, Lijuan Zhang, Xiaxiang Li & Shuying Zang. Satellite monitoring of boreal forest phenology and its climatic responses in Eurasia // International Journal of Remote Sensing (2017), 38:19, 5446-5463, DOI: 10.1080/01431161.2017.1339925
3. Lanhui Wang, Rasmus Fensholt. Temporal Changes in Coupled Vegetation Phenology and Productivity are Biome-Specific in the Northern Hemisphere // Remote Sensing (2017), 9, 1277; doi:10.3390/rs9121277

4. Varlamova E.V., Solovyev V.S. Study of NDVI Variations in Tundra and Taiga Areas of Eastern Siberia (Yakutia) // *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2015. Vol. 28. No. 1. P. 64–67.
5. Varlamova E.V., Solovyev V.S. Study of NDVI vegetation index in East Siberia under global warming // *Proceedings of SPIE on 22nd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics*. 2016. V. 10035. P. 100355K. (doi:10.1117/12.2248092).
6. Varlamova E.V., Solovyev V.S. Spatio-temporal variations of vegetation indicators in Eastern Siberia under global warming // *Proceedings of SPIE on 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics*. 2017. V. 10466. P. 1046660. (doi:10.1117/12.2287360).
7. Варламова Е.В., Соловьев В.С. Исследование трендов NDVI и фенологических параметров растительности мерзлотного региона Сибири по спутниковым наблюдениям // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017. Т. 14. № 3. С. 206-214.
8. Pinzon J.E, Tucker C.J (2014). A Non-Stationary 1981-2012 AVHRR NDVI3g Time Series. *Remote Sensing*, 6, 6929-6960.
9. Harris I.C., Jones P.D. University of East Anglia Climatic Research Unit, CRU TS4.01: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) version 4.01 of high-resolution gridded data of month-by-month variation in climate (Jan. 1901- Dec. 2016). Centre for Environmental Data Analysis, 04 December 2017. doi: 10.5285/58a8802721c94c66ae45c3baa4d814d0.
10. Bartalev S.A., Belward A.S., Erchov D.V., Isaev A.S., A new Spot4-vegetation derived land cover map of northern Eurasia, *International Journal of Remote Sensing*, 2003, Vol. 24, No. 9, pp. 1977–1982.