

Исследование динамики индекса растительности арктической зоны Восточной Сибири по спутниковым данным

Е.В. Варламова, В.С. Соловьев

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН
677980, г. Якутск, проспект Ленина, 31
varlamova@ikfia.ysn.ru*

В работе представлены результаты исследования вариаций NDVI растительности арктической зоны Восточной Сибири в условиях глобального потепления климата по данным многолетних (1982–2006 гг.) спутниковых наблюдений и метеорологических станций.

Ключевые слова: Арктика, дистанционное зондирование, вегетационный индекс.

Введение

За последние полтора столетия температура на Земле выросла примерно на 1–1,5 град. Особенно интенсивно процесс потепления шел в последние 20–25 лет. Согласно спутниковым наблюдениям с 1978 г. площадь ледового покрова Северного ледовитого океана в среднем уменьшалась за десятилетие на 2,7 [2,1–3,3] %, причем в летний период процесс шел быстрее – на 7,4 [5,0–9,8] %, при этом значительно увеличилась площадь открытого водного пространства (МГЭИК, 2007).

Таким образом, Арктика становится все более доступной человечеству: углеводородные ресурсы прибрежного шельфа, составляющие по разным оценкам более 35% мировых разведанных запасов станут более доступны; возникает реальная возможность круглогодичной эксплуатации Северного морского пути, что в разы понизит себестоимость перевозок в направлении «Азия–Европа»; возникают реальные условия формирования нового трансконтинентального транспортного направления Якутск–Чукотка–Аляска и многое другое.

Однако более интенсивное освоение Арктики и эксплуатация ее ресурсов имеет и отрицательную сторону – повысятся риски чрезвычайных ситуаций (ЧС). Экологические последствия ЧС на нефтепромыслах и транспортных маршрутах (разливы нефтепродуктов, катастрофы транспортных средств и т.д.) могут иметь необратимый характер. Суровый климат Арктики (продолжительная холодная зима, сухое быстротечное лето, недостаток солнечной радиации, вечная мерзлота и т.д.) обуславливает низкий реабилитационный ресурс северной природной среды. В силу этих обстоятельств, а также малонаселенности, удаленности и слаборазвитости инфраструктуры мероприятия по локализации и ликвидации последствий ЧС в Арктике потребуют огромных усилий и финансовых затрат. Поэтому необходимость всестороннего экологического мониторинга природной среды Арктики и прилегающих к ней территорий не вызывает сомнения.

Как важнейший компонент биосферы и источник ресурсов, растительный покров является «индикатором» глобальных изменений биосферы и климата. Целью работы является исследование вариаций NDVI растительности арктической зоны Восточной Сибири в условиях глобального потепления климата по данным многолетних спутниковых наблюдений.

Данные и методика

В условиях труднодоступности значительной части территории арктической зоны методы дистанционного зондирования являются неоценимыми источниками информации

о состоянии окружающей среды, обеспечивая высокий уровень достоверности, оперативности и регулярности измерений ключевых параметров.

Для оценки состояния растительности на основе данных дистанционного зондирования используются различные вегетационные индексы, рассчитываемые как комбинации спектральных характеристик отраженного сигнала. К числу наиболее широко используемых относится нормализованный разностный вегетационный индекс $NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$, где NIR и RED – значения альбедо земной поверхности в ближнем ИК и красном диапазонах спектра.

В работе были использованы данные радиометра AVHRR спутников NOAA, полученные на станции СКАНЭКС в ИКФИА СО РАН и данные международного проекта GIMMS (Global Inventory Modeling and Mapping Studies) (1982-2006 гг.). Также были использованы данные метеостанций Росгидромета.

Исследования вариаций индекса NDVI проводились на тестовых участках, расположенных на Яно-Индигирской низменности («северо-восточный» участок, ~30x30 км.), Северо-Сибирской низменности («северо-западный» участок, ~50x50 км.), Центрально-Якутской равнине («центральный» участок, ~50x50 км.) и на Приленском плато («южный» участок, ~50x50 км.), обозначенных как участки «С-В», «С-3», «Ц» и «Ю», соответственно. Расположение тестовых участков показано на рис. 1.

Выбранные участки характеризуются ровным низменным рельефом и отсутствием больших водных объектов. Северные («С-В», «С-3») и южные («Ц», «Ю») участки различаются как типами растительности, так и различными климатическими условиями.

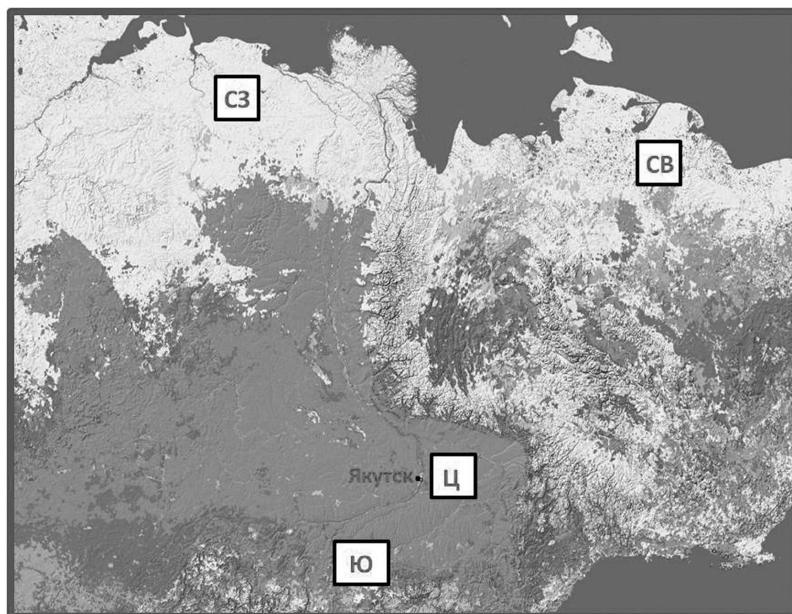


Рис. 1. Расположение тестовых участков

Орографически «С-В» участок отделен от остальных участков горными массивами. Но, тем не менее, оба северных участка расположены на одной широте и схожи по типу растительности – субарктическая тундра. На южных участках – среднетаежные лиственничные леса, с преобладанием предгорной растительности на «Ю» участке.

В результате обработки спутниковых данных были построены межгодовые и сезонные вариации вегетационного индекса NDVI для «С-В», «С-3», «Ц» и «Ю» участков (Варламова, Соловьев, 2010 а; Варламова, Соловьев, 2010 б; Варламова, Соловьев, 2011 а; Варламова, Соловьев, 2011 б; Varlamova, Solovyev, 2010).

Межгодовые и сезонные вариации NDVI тестовых участков

Продолжительность вегетационного сезона, в течение которого происходит основная жизнедеятельность растений, является важной биоклиматической характеристикой (определяющей продуктивность наземных экосистем, параметры процессов энергомассообмена между поверхностью суши, атмосферой и другими компонентами геосистемы). В традиционной фенологии начало вегетации определяется на основе признаков возобновления сокодвижения в растениях в весенний период. Одним из условий для активной жизнедеятельности растений являются метеопараметры (температура воздуха и почвы, атмосферные осадки). Наиболее распространенный на практике метод определения временных границ вегетационного сезона основан на использовании данных метеорологических наблюдений и, прежде всего, температуры воздуха.

На рис. 2 (а, б) показаны сезонный ход NDVI и среднесуточной температуры воздуха, построенные по 15-дневным усредненным данным за период май-сентябрь 1982–2006: а) южные участки, б) северные участки.

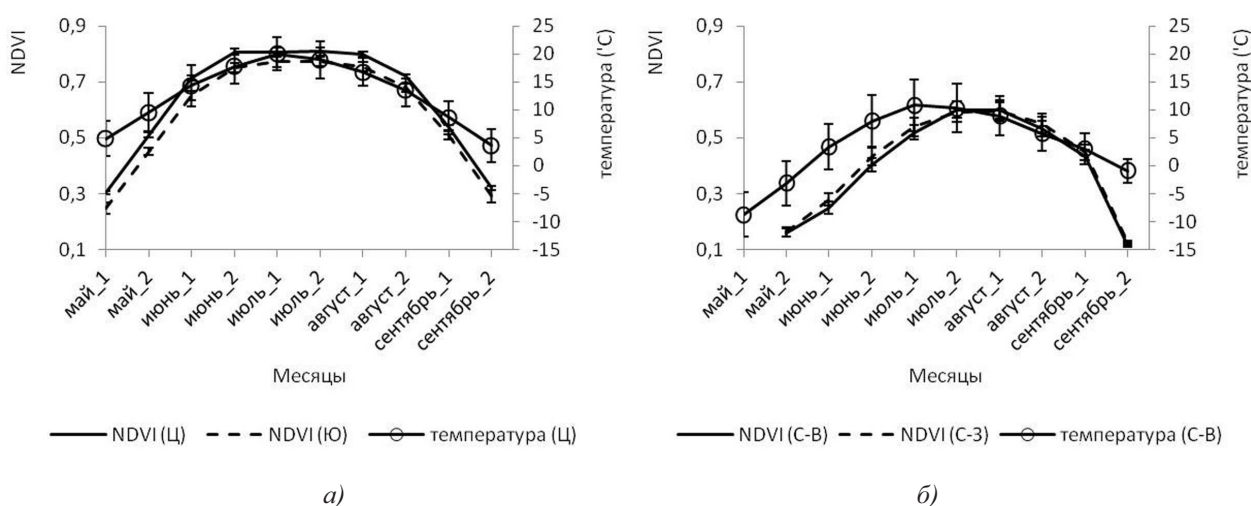


Рис. 2. Сезонный ход NDVI и среднесуточной температуры воздуха, построенные по 15-дневным усредненным данным за период май-сентябрь 1982–2006: а) южные участки, б) северные участки

Из рис. 2 (а, б) видно, что изменения вегетационного индекса растительности и среднесуточной температуры всех участков в течение сезона вегетации наряду с общими представлениями описываются характерными кривыми. Но, тем не менее, разница в характере временного поведения индекса растительности между южными и северными участками существенна, что объясняется различными климатическими условиями участков. Начало сезона вегетации во многом зависит от устойчивого перехода к положительным температурам. Температура северного участка, находящегося в Яно-Индибирской низменности достигает положительных значений в июне. С этого же месяца начинает расти NDVI «С-В» участка, достигая максимума к началу августа, который вскоре сменяется спадом. Аналогичным образом ведет себя индекс растительности на «С-3» участке.

Сезонная динамика вегетации «Ц» участка, расположенного в междуречье рек Лены и Алдана, имеет иной характер. В первой половине мая NDVI принимает значения выше 0,2 и далее начинается активный рост. С начала июня и до конца августа в среднем наступает фаза насыщения – значения NDVI держатся на уровне 0,7-0,8. Спад NDVI происходит только в сентябре. Аналогичным образом ведет себя индекс растительности «Ю» участка. Отметим, что температура «Ц» участка в течение периода май-сентябрь имеет положительные значения.

Несмотря на сложный характер межгодовых вариаций NDVI всех участков, относительные вариации как между южными («Ц», «Ю») участками, так и между северными («С-В», «С-З») участками схожи (рис. 3 а, б).

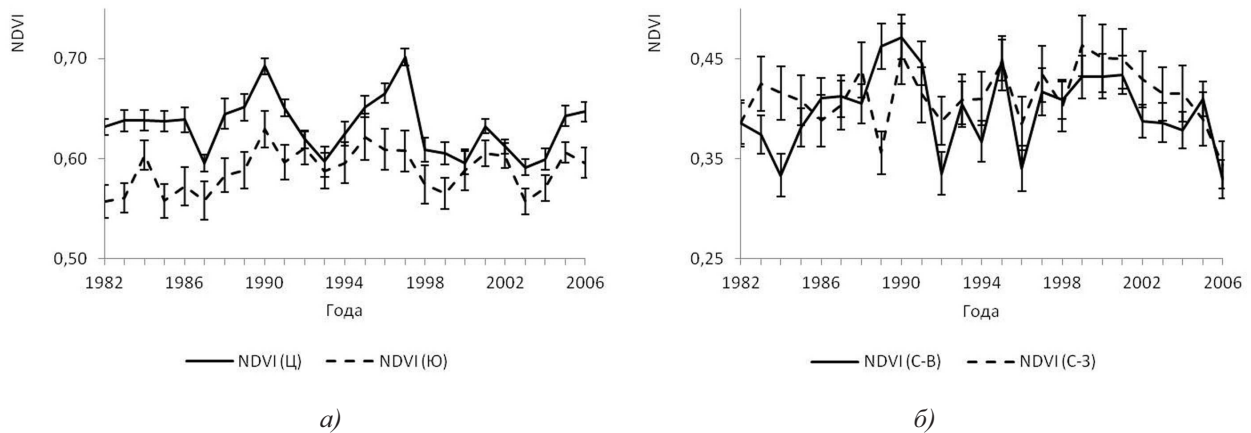


Рис. 3. Межгодовые вариации NDVI (1982-2006): а) южные участки, б) северные участки

Связь межгодовых вариаций значений NDVI и метеорологических параметров

На рис. 4 (а, б) показаны межгодовые вариации значений NDVI и метеорологических параметров (среднесуточной температуры воздуха и количества атмосферных осадков) северных участков. Из рис. 4 (а, б) видно, что на протяжении 25 лет поведение индекса растительности и климатических параметров «С-З» и «С-В» участков имеет сложный характер. В отдельные годы наблюдаются резкие рост и спад значений NDVI на обоих участках. Но, тем не менее, между NDVI и температурой на обоих участках прослеживается заметная связь, коэффициент корреляции составил 0,74 и 0,68 (рис. 5 а, б). Колебания уровня осадков также значительны и имеют сложный характер, но его связь с NDVI не столь выражена: коэффициент корреляции между NDVI и осадками для «С-З» участка составляет -0,39, а для «С-В» участка равен 0,24.

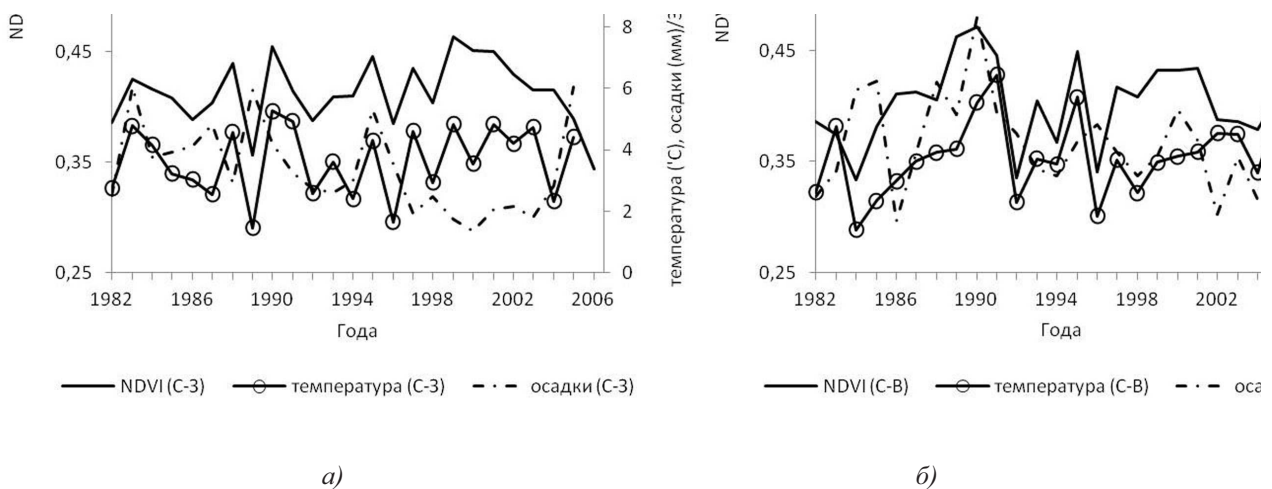
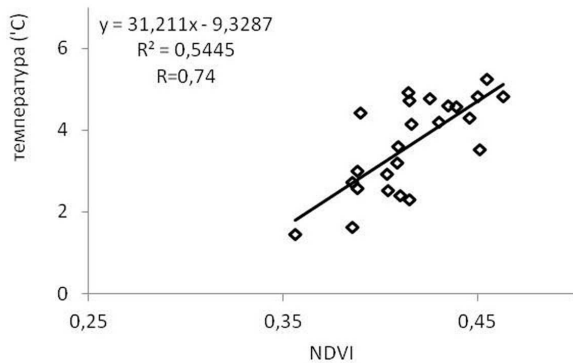
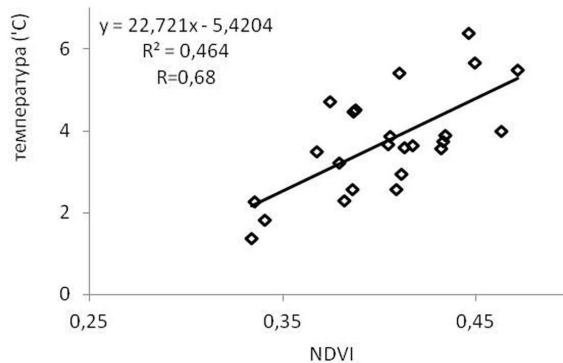


Рис. 4. Межгодовые (май-сентябрь) вариации NDVI, температуры и осадков: а) «С-З» участок, б) «С-В» участок



◆ NDVI (C-3) — Линейная (NDVI (C-3))

а)



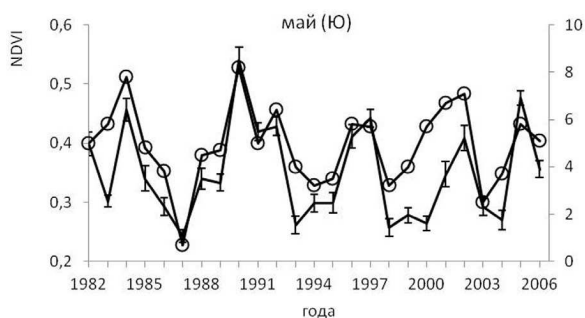
◆ NDVI (C-B) — Линейная (NDVI (C-B))

б)

Рис. 5. Связь NDVI с температурой: а) «С-3» участок, б) «С-В» участок

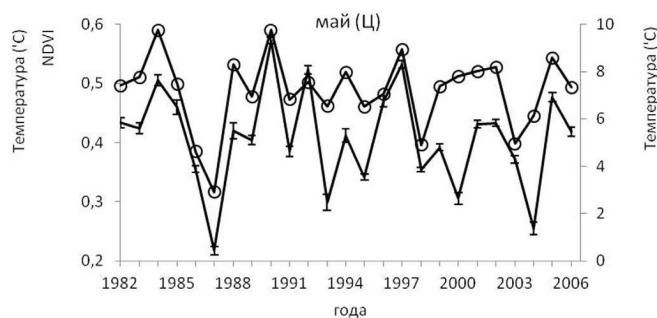
На южных участках зависимость NDVI с температурным режимом, в целом, невысока (на «Ю» участке коэффициент корреляции равен 0,44) и даже практически отсутствует (на «Ц» участке коэффициент корреляции равен 0,18). Связь между NDVI и осадками на обоих южных участках также отсутствует (коэффициенты корреляции равны -0,09 и 0,04).

Тем не менее, связь NDVI с температурой воздуха для «Ю» и «Ц» участков существует, но она наблюдается только в начале сезона вегетации – в мае месяце (рис. 6 а, б), когда коэффициент корреляции составил 0,78 и 0,77 (рис. 7 а, б), соответственно для участка «Ю» и «Ц».



— NDVI ○ температура

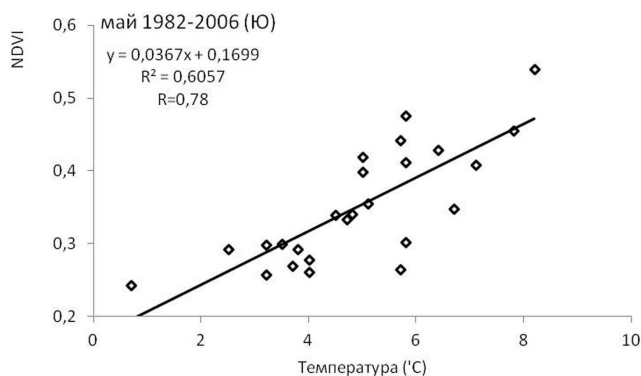
а)



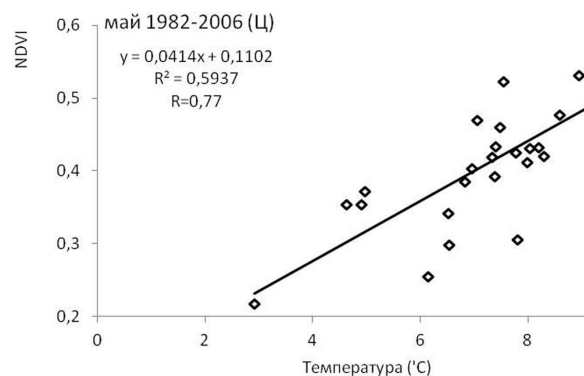
— NDVI ○ температура

б)

Рис. 6. Межгодовые вариации NDVI и температуры мая: а) «Ю» участок, б) «Ц» участок



а)



б)

Рис. 7. Связь NDVI с температурой мая 1982-2006: а) «Ю» участок, б) «Ц» участок

Выводы

Анализ межгодовых (май–сентябрь) вариаций индекса вегетации NDVI и метеопараметров (температура воздуха и атмосферные осадки) показал, что вегетационный индекс NDVI арктической растительности («С-3» и «С-В» участки) в большей степени коррелирует с температурным режимом, чем с уровнем осадков. На южных участках («Ю» и «Ц» участки) заметная связь NDVI с температурой наблюдается только на начальной фазе вегетационного сезона (май). Корреляция NDVI с количеством осадков не обнаружена. Наблюдаемый характер связи индекса NDVI с температурным режимом для северных («С-3», «С-В») и южных («Ю», «Ц») тестовых участков вероятнее всего обусловлен различием климатических, гидрологических условий и типов растительности.

Литература

1. Варламова Е.В., Соловьев В.С. Исследование вариаций вегетационного индекса NDVI арктической зоны Якутии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. Том 7. Номер 3. С. 226–230.
2. Варламова Е.В., Соловьев В.С. Спутниковый мониторинг растительности арктической зоны Якутии // V Международная конференция «Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений» Паратунка, Камчатский край, 02–07 августа 2010 г., сб. докл., отв. ред.: Б.М. Шевцов, В.В. Богданов. С. 50–53.
3. Варламова Е.В., Соловьев В.С. Межгодовые вариации вегетационного индекса NDVI арктической зоны Якутии // Высокие технологии, образование, промышленность. Т. 3: сборник статей Одиннадцатой международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности». 27–29 апреля 2011 года, Санкт-Петербург, Россия / под ред. А.П. Кудинова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – С. 235–237.
4. Варламова Е.В., Соловьев В.С. Исследование вариаций вегетационного индекса растительного покрова Арктической зоны Якутии // XVII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы»: Сборник трудов [Электронный ресурс]. Электрон. текстовые, граф. данные. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2011. – Ф. 22–25.
5. МГЭИК, 2007: Изменение климата, 2007 г.: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата [Пачаури, Р.К., Райзингер, А., и основная группа авторов (ред.)]. МГЭИК, Женева, Швейцария, 104 стр.
6. Varlamova E.V., Solovyev V.S., Vasil'ev M.S., Budishchev A.A. Research of Variations of NDVI Vegetation Index of Yakutia On AVHRR/NOAA Data // «The application of technologies for the conservation of nature in Cold Regions»: Materials of The IX International Symposium on Cold Regions Development. Yakutsk, 1–5 June, 2010. – P. 233.

Study of vegetation index variations of the Arctic zone of Eastern Siberia based on satellite data

E.V. Varlamova, V.S. Solovyev

*Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy of SB RAS
677980, Yakutsk, Lenin Ave, 31
varlamova@ikfia.ysn.ru*

The paper presents the results of studies of NDVI variations of the Arctic zone of Eastern Siberia in the global warming based on long-term (1982–2006) satellite observations and meteorological stations data.

Key words: Arctic, satellite observations, vegetation index.