

## СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ РАСТИТЕЛЬНОСТИ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЯКУТИИ SATELLITE MONITORING OF VEGETATION IN ARCTIC ZONE OF YAKUTIA

Е.В. Варламова, В.С. Соловьев

Институт космических исследований и агрономии им. Ю.Г. Шафера СО РАН,  
[varlamova@ikfia.ysn.ru](mailto:varlamova@ikfia.ysn.ru)

*A long-term of data (1998-2009) of AVHRR radiometer (NOAA satellites), received at the station SCANECs (IKFIA SB RAS, Yakutsk) were used to research variations of vegetation index of Yakutia arctic zone. In this work we used values of NDVI vegetation index (Normalized Difference Vegetation Index). Four test sites with sizes 30x30 km on territory of Yakutia have been selected: three sites in the north-east and one in central Yakutia. To investigate test sites the data received during the vegetation period may – september were used. AVHRR data have been processed. Decadal, seasonal and annual averaged values of NDVI have been calculated. In addition to AVHRR measurements, RusHydromet data were used to assess the temperature and humidity of test sites. Average values of Wolf number were used as an indicator of solar activity. Comparison of the data obtained was conducted. Analysis of vegetation index dynamics shows that during the monitoring period 1998-2009 on the background of overall increase in temperature and humidity despite noticeable interannual variations of NDVI in minimum solar activity (2006-2009) general decrease of NDVI in north-eastern of Yakutia is observed. Particularly strong decline phase of NDVI was observed for period 2001-2005. It may be noted that this declination has coincided with a phase of decreasing solar activity in the 23rd cycle.*

Арктический регион является одним из тех регионов, в которых глобальные изменения климата проявляются наиболее выражено [1], о чем свидетельствует, например, сокращение площади морских льдов, деградация верхних горизонтов криолитозоны, изменения границ ареалов распространения растительных сообществ и др. [2].

Несмотря на значительные усилия исследователей в течение последних лет, детальное понимание динамики основных компонент окружающей среды региона еще не достигнуто, в частности, это относится к изучению изменений почвенно-растительного покрова. Деградация вечной мерзлоты может изменить процессы газообмена в почве и во всей экосистеме, и, таким образом, концентрацию парниковых газов в атмосфере [3]. Это повлечет изменения в растительном покрове и характеристиках гидрологического режима. Именно этими обстоятельствами обусловлена цель настоящей работы - исследование влияния изменений климата на межгодовые вариации индекса растительности арктической зоны Якутии.

Развитие и физиологическое состояние растительности, или фитоценозов, определяются влиянием ряда внешних факторов. Важнейшие из них: тип почвы, образование почвенного профиля, характеристика питательных веществ в почве, характеристика вод (соответственно влажность почвы), морфология рельефа местности и топографическая позиция объекта, солнечная радиация, климатические условия и ежегодные изменения окружающей среды (фенология). Растения реагируют на изменения окружающей среды изменениями содержания пигмента, структуры мезофилла, а также изменениями свойств поверхности листьев и влагосодержания в них. Такая реакция растений всегда воздействует на свойства спектрального отражения и поглощения света их листвой. Зависимость спектральных характеристик растений и фитоценозов в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах от их физиологического состояния имеет большое значение для дистанционного зондирования [4].

Современные технологии сбора данных, основанных на использовании методов дистанционного зондирования, обладают рядом неоспоримых достоинств – оперативность и высокая периодичность наблюдений на обширных и труднодоступных участках, широкий спектр получаемых данных, относительная дешевизна измерений и т.п. – и широко применяющихся для решения самых разнообразных задач.

Для исследования динамики растительности использовался вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) [5], рассчитываемый по данным первого и второго спектральных каналов AVHRR спутников NOAA, полученных на станции СКАНЭКС (ИКФИА СО РАН, г. Якутск) за период 1998-2009 гг. [6-8]. NDVI рассчитывался в течение вегетационного периода май-сентябрь. В результате обработки данных прибора AVHRR получены декадные, сезонные и годовые усредненные значения NDVI тестовых участков (размером ~30x30 км, расположенных на северо-востоке и в центральной части Якутии; участки пронумерованы в порядке широтного расположения по направлению «север-юг») (рис. 1). Кроме спутниковых измерений, использовались данные метеорологических наблюдений сети Росгидромета по температуре и влажности.

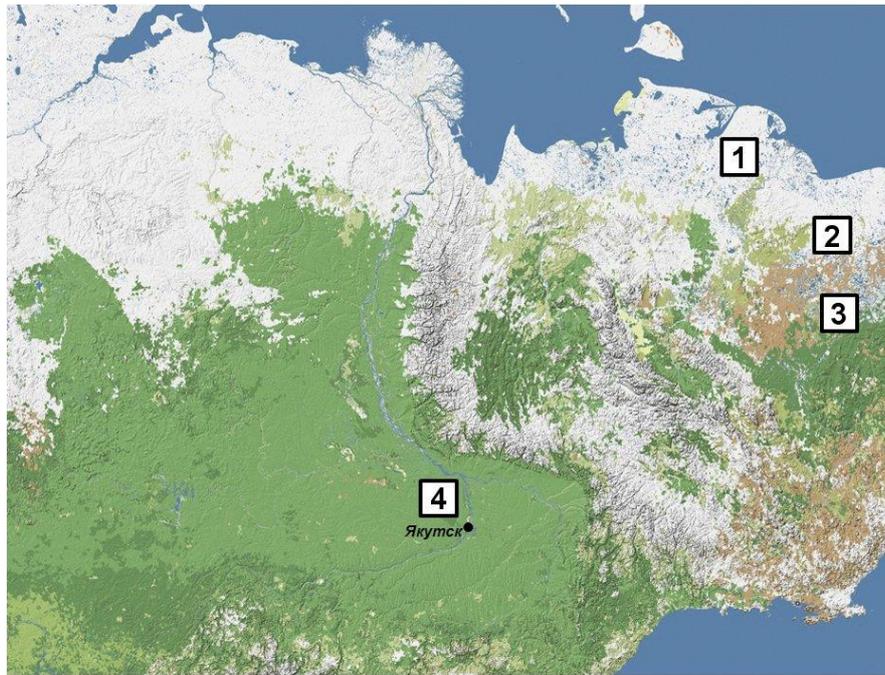


Рис. 1. Расположение тестовых участков №1,2,3,4

На рис. 2 показаны усредненные по трем северным участкам (№1, 2, 3) среднегодовые вариации NDVI. Также приведены изменения температуры и влажности северных участков. Слева по вертикальной оси отложены значения NDVI (сплошная линия), справа – температуры (штриховая линия) и влажности (пунктирная линия). Прямыми сплошными линиями показаны соответствующие тренды.

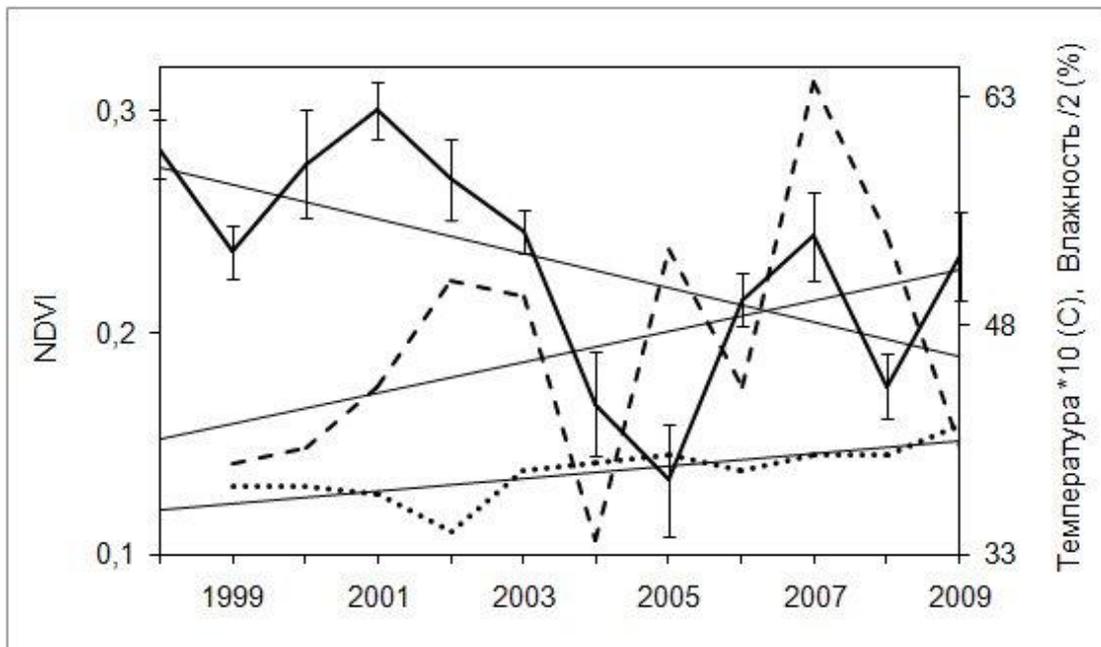


Рис. 2. Среднегодовые вариации NDVI, температуры и влажности на северо-востоке Якутии за период 1998-2009 гг.

Как следует из рис. 2, в поведении NDVI наблюдаются минимумы (1999, 2005, 2008) и максимумы (2001, 2007): с 1999 по 2001 гг. наблюдается увеличение NDVI на фоне аналогичного роста температуры; далее до 2005 г. наблюдается устойчивое снижение вегетационного индекса более чем в два раза, при этом температурный ход также падает. На протяжении последующих лет (2005-2009) вариации NDVI и температуры коррелируют слабо. При этом в течение всего периода исследований влажность абсолютно не коррелирует с NDVI.

Поведение трендов рассматриваемых параметров за последние двенадцать лет (1998-2009) показывает, что на фоне роста благоприятных факторов (температура, влажность) индекс растительности в тундровой зоне понижается.

На рис. 3 показан усредненный за период 1998-2009 сезонный ход NDVI (усредненный по трем северным участкам (№1-3) и южный участок (№4)) и усредненный за период 1979-2009 сезонный ход температуры самого северного (№1) и южного (№4) участков. NDVI обозначены сплошной (участок №4) и штриховой (участки №1-3) линиями, а температура – пунктирной (участки №1-3) и штрихпунктирной линиями. Слева по вертикальной оси отложены значения NDVI, справа – температуры.

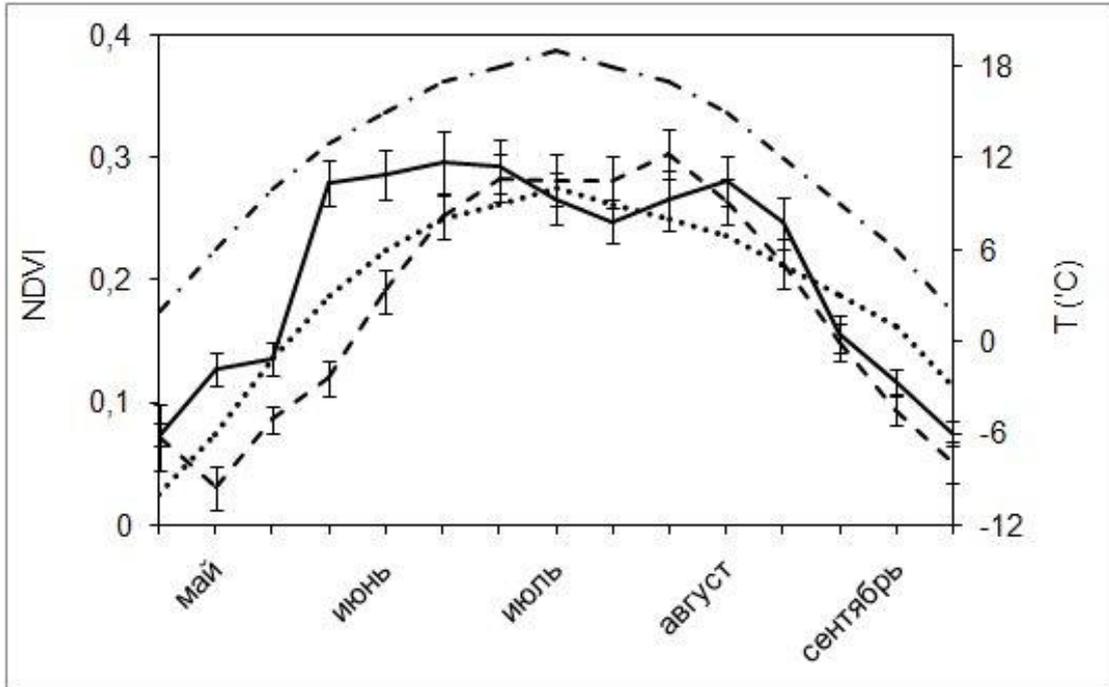


Рис. 3. Сезонный ход NDVI (1998-2009) и температуры (1979- 2009) на северо-востоке и в центральной части Якутии

Из рис. 3 видно, что изменения растительности и температуры всех участков в течение сезона вегетации описываются характерными кривыми. Но, тем не менее, наблюдаются свои особенности поведения растительности и температуры отдельных участков. Разница в характере временного поведения растительности между северными (№1-3) и южным (№4) участками существенная.

Температура северного участка, находящегося в Яно-Индигирской низменности достигает плюсовых значений в июне, с этого же месяца начинает расти NDVI растительности северных участков (Яно-Индигирская и Колымская низменности), к началу августа достигает максимума, который тут же сменяется спадом. Сезон вегетации «южного» участка, расположенного в речной долине у слияния реки Лены и Алдана, имеет развитую фазу с начала июня и до конца августа, при этом в конце июля наблюдается локальный минимум. Отметим, что температура на данном участке положительная с начала мая месяца.

Количество осадков, их сезонное и географическое распределение во взаимосвязи с термическим режимом обуславливают характер растительного покрова, активность вегетации растений и т.п. Восточная Сибирь, частью которой является Якутия, по количеству годовых осадков (250-300 мм) относится к зоне полупустынь. Наибольшее количество осадков наблюдается весной и осенью, поэтому доминирующую роль в «водоснабжении» растительности этого региона в сезон вегетации играют грунтовые воды, подпитываемые сезонной оттайкой вечной мерзлоты. Мощность сезонно-талого слоя вечной мерзлоты достигает своей наибольшей величины в конце лета [9]. Возможно, это обстоятельство: большой уровень влагонасыщенности почвы за счет большей оттайки вечной мерзлоты обеспечивает наблюдаемый рост NDVI к концу лета.

Проведенные исследования по данным ДЗЗ вегетационного индекса показали интересные результаты. За последние двенадцать лет (1998-2009) на фоне роста благоприятных факторов

(температура, влажность) индекс растительности в тундровой зоне понижается. Были также выявлены региональные особенности в сезонном ходе вегетационного индекса. Интерпретация и понимание этих результатов требует проведения дальнейших исследований с привлечением комплексных данных компонентов природной среды севера Якутии.

Работа выполнена при поддержке по Программе РАН №16/3.

#### Литература

1. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ)/ Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Техническое резюме. Изд-во ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». Москва, 2008. 90 с.
2. Павлов А.В., Гравис Г.Ф. Вечная мерзлота и современный климат // Природа. 2000. №4. С.10-18.
3. Анисимов О.А., Лавров С.А., Ренёва С.А. Оценка изменения эмиссии парниковых газов из многолетнемерзлых болот криолитозоны России в условиях глобального потепления. Современные проблемы экологической метеорологии и климатологии. С. Пб.: Гидрометеоздат, 2005, С.114-138.
4. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли: Основы и методы дистанционных исследований в геологии: Пер. с нем.-М.: Мир, 1988. 343 с.
5. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W. and Harlan, J. C. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third NASA ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 1973, P.309-317.
6. Соловьев В.С., Козлов В.И., Варламова Е.В. Исследование проявления солнечно-земных связей в динамике облачности Северной Азии по данным ДЗЗ // Солнечно-земная физика, Вып. 12, Т. 2, 2008, С.329-331
7. Соловьев В.С., Козлов В.И., Васильев М.С., Варламова Е.В. Недельная вариация площади лесных пожаров, наблюдаемая на территории Якутии / Материалы международного симпозиума: Контроль и реабилитация окружающей среды / Под общ. ред. М.В. Кабанова, А.А. Тихомирова. VI Международный симпозиум, Томск, 3-5 июля 2008 г. – Томск: Аграф-Пресс, 2008. С.133-134.
8. Соловьев В.С., Козлов В.И., Муллаяров В.А. Дистанционный мониторинг лесных пожаров и гроз в Якутии. Якутск: Изд-во. ЯНЦ СО РАН, 2009. 108 с.
9. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ)/ Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2009 г. Изд-во ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». Москва, 2010. 57 с.