

Динамика растительного покрова острова Вайгач под влиянием климатических изменений

И.А. Лавриненко

Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН,
197376 Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 2
E-mail: lavrinenkoi@mail.ru ;

Процессы динамики растительного покрова под влиянием климатических изменений, выявленные для тундровой зоны североамериканского континента, в значительной степени характерны и для острова Вайгач, расположенного в европейском секторе Арктики. Так, за последние три десятилетия произошло отчетливое увеличение средних значений NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – нормализованный вегетационный индекс) для ключевого участка. Если в 1984-1988 гг. в максимум вегетации преобладали контуры растительности со значениями NDVI не превышающими 0,3-0,4, то в 2006-2010 гг. доминировали контуры со значениями выше 0,4. Установлено, что тенденция нарастания надземной зеленой фитомассы отчетливо прослеживается в разных типах фитоценозов – от сообществ и группировок с разреженным растительным покровом (проективное покрытие <10 %) до сомкнутых кустарниковых и луговых сообществ (проективное покрытие около 100 %). Кроме того, на территории острова к 2006-2010 гг., по сравнению с 1984-1986 гг., произошёл сдвиг накопления максимальной зеленой биомассы растительными сообществами примерно на 2 недели (с июля – начала августа на вторую декаду августа).

Ключевые слова: климатические изменения, динамика растительного покрова, остров Вайгач, арктические острова, NDVI.

Изучение влияния климатических изменений на состояние природных экосистем высокоширотной Арктики в последнее десятилетие находится в фокусе большого числа научно-исследовательских работ и проектов (Sturm et al., 2001; Slayback et al., 2003; Anisimov et al., 2007; Bhatt et al., 2010; Hill & Henry, 2010; Hudson & Henry, 2009, 2010 и др.), поскольку этот регион отличается высокой чувствительностью по отношению к внешним воздействиям, обусловленным как естественными природными, так и антропогенными факторами. Согласно умеренным прогнозам, к 2100 г. около 10 % тундровых сообществ будут заменены бореальными (Sitch et al., 2003), в других работах приводятся величина до 50 % (White et al., 2000).

Для оценки сезонной и межгодовой динамики растительного покрова широко используют вегетационные индексы, отражающие динамику зеленой биомассы и содержание хлорофилла. С применением каналов видимой красной (К) и ближней инфракрасной (ИК) части спектра, рассчитывают *нормализованный вегетационный индекс (NDVI)*, который отражает продуктивность зеленой биомассы: $NDVI = (ИК - К) / (ИК + К)$.

D.A. Walker с соавторами (Walker et al., 2003) установили положительную зависимость между NDVI и показателями зеленой биомассы для тундровой зоны Аляски (рис.1).

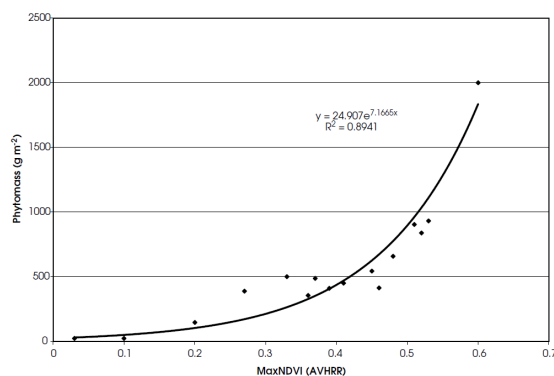


Рис.1. Взаимосвязь между значениями NDVI и показателями надземной зеленой фитомассы (Walker et al., 2003)

Изменения в растительных сообществах под влиянием климата показаны, прежде всего, для североамериканского сектора Арктики (Sturm et al., 2001). Получаемые со спутников изображения земной поверхности свидетельствуют о возрастании усредненного значения NDVI за последние десятилетия (Slayback et al., 2003). Как полагают авторы, это связано с увеличением продолжительности вегетационного периода и с документально подтвержденными изменениями содержания CO₂ в атмосфере.

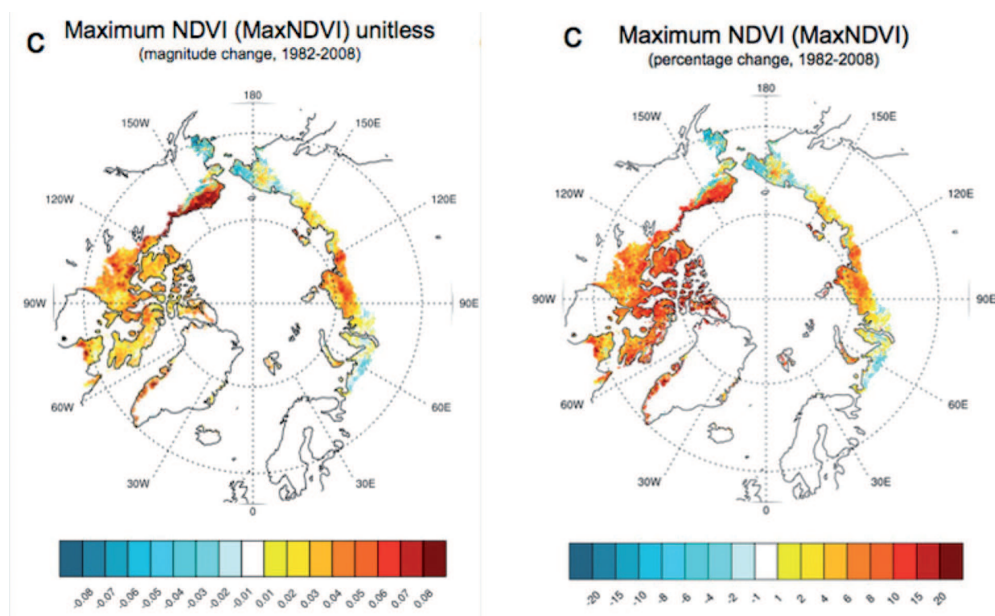


Рис.2. Величина (слева) и процент (справа) изменения максимального значения NDVI (MaxNDVI) с 1982 по 2008 год в тундровой зоне Арктики. Градация цветов показывает изменения только к северу от границы Арктики. Цветовая шкала не является линейной (Bhatt et al., 2010)

Проанализировав данные спутниковой съемки и результаты наземного мониторинга U.S. Bhatt с соавторами (Bhatt et al., 2010) показали, что наибольшее увеличение значений вегетационного индекса происходит в высоких широтах Канадской Арктики, Западной Гренландии и Северной Аляски. В период с 1982 по 2008 гг. максимальное значение NDVI в этих регионах возросло до 15-20 % (рис.2). Тенденции «позеленения», выявленные на космических снимках, подтверждаются увеличением биомассы растительности на ключевых участках.

Подобные тенденции, выявленные при анализе спутниковых данных, подтверждаются результатами долгосрочного изучения состава, структуры и биомассы растительности тундры на модельных площадках в рамках Международных проектов ITEX (International Tundra Experiment) и BTF (Back to the Future). Так, изучение участков на Alexandra Fiord и Ellesmere Island в течение последних 25-30 лет показало значительные изменения в наземных и подземных частях биомассы (Hudson & Henry, 2009; Hill & Henry, 2010). По мнению авторов, эти процессы, скорее всего, являются ответом на изменение температуры воздуха за последние 35 лет.

Результаты 22-летних наблюдений (1989-2008) состава и структуры растительности в пределах 156 постоянных участков мониторинга в окрестностях Toolik Lake свидетельствовали об увеличении доли относительного обилия сосудистых растений, которая возросла на 16 %, тогда как относительное обилие споровых (преимущественно лишайники и мхи) снизилось на 18 % (Gould & Mercado-Díaz, 2008).

В свете тенденций динамики растительности, зарегистрированных для тундровой зоны Северной Америки, особый интерес представляет изучение степени проявления подобных тенденций для арктических территорий Российской Федерации.

Остров Вайгач расположен в условиях высокоширотной Арктики на северо-востоке европейской части. Он представляет собой арктический шельфовый остров с незначительными высотами (наивысшая точка острова – гора Болванская, 157 м н.у.м). На Вайгаче широко представлены равнинные и горные тундры, приморские, долинные, болотные и водные типы растительности, что связано с разнообразием форм рельефа и ландшафтов.

Сочетание исторического, культурного и природного наследия обусловило то, что в настоящее время остров имеет статус комплексного природного заказника, в рамках которого сохраняется традиционное природопользование (оленьеводство, охота и рыболовство) и в то же время развивается этно-экологический туризм. В связи с этим, вопросы динамики растительного покрова острова под влиянием климатических изменений являются ключевыми при оценке состояния и популяционной динамики охраняемых видов животных и растений, при зонировании территории по устойчивости к антропогенным и природным воздействиям, а также при регламентации численности и режима выпаса оленьих стад в пределах особо охраняемых природных территорий.

Для анализа сезонной и межгодовой динамики растительности Вайгача нами был выбран ключевой участок размером 10 км × 20 км, приуроченный к юго-западной оконечности острова и охватывающий большинство распространенных на острове типов растительных сообществ – от высокопродуктивных ивняковых и ивняково-луговых фитоценозов до разреженных травянистых, кустарничковых и лишайниковых группировок на скальных обнажениях с минимальной зеленой массой.

Обработка 28 снимков спутников Landsat TM 4-7 и сравнительный анализ показателей NDVI за периоды вегетации (июнь – сентябрь) с 1984 по 2010 гг. позволили нам выявить следующие тенденции:

1. Произошел сдвиг накопления максимальной продуктивности (максимум вегетации) с июля – начала августа в 1984-1986 гг. на вторую декаду августа в 2006-2010 гг. В 1986-1988 гг. пик вегетации растительности на ключевом участке приходился на начало августа, а во второй половине августа значения NDVI снижались (рис.3).

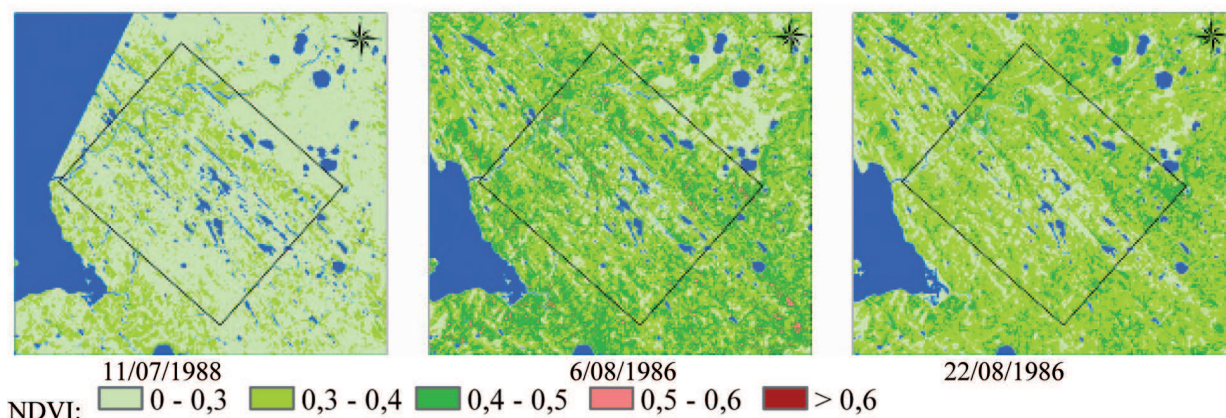


Рис.3. Динамика сезонных показателей нормализованного вегетационного индекса в 1986-1988 гг.

В 2006-2009 гг. максимум вегетации приходился на вторую половину августа, когда значение NDVI было наиболее высоким (рис.2).

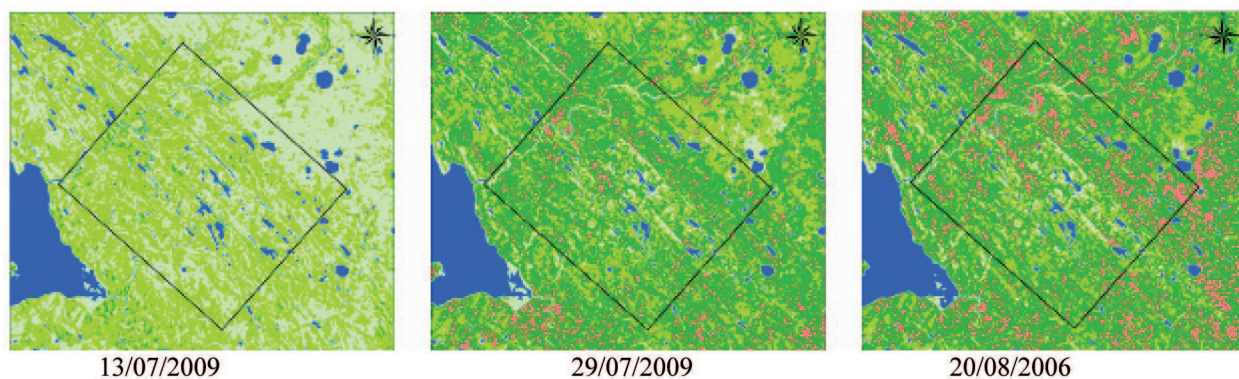


Рис.4. Динамика сезонных показателей нормализованного вегетационного индекса в 2006-2009 гг.

2. Продолжительность активной вегетации в 2006-2010 гг. увеличилась примерно на 2 недели, по сравнению с 1984-1986 гг. На спутниковых снимках 2006-2009 гг. значения NDVI равные 0,4 и больше сохранялись до конца августа (рис.4), тогда как на снимках 1984-1986 гг. значения NDVI в начале августа составляли 0,3-0,5, а к концу августа снижались до 0,3 и ниже (рис.3).

3. Спутниковые снимки, сделанные в пик вегетации за период с 1984 г. по 2010 г., показывают, что за последние 27 лет произошло увеличение значений NDVI на подавляющем большинстве контуров в пределах ключевого участка (рис.5). Если в 1984-1988 гг. в максимум вегетации преобладали контуры растительности со значениями NDVI не превышающими 0,3-0,4 (светло-зелёный цвет), то в 2006-2010 гг. доминировали контуры со значениями выше 0,4 (тёмно-зелёный и розовый цвет), которые практически отсутствовали на снимках 1984-1988 гг.

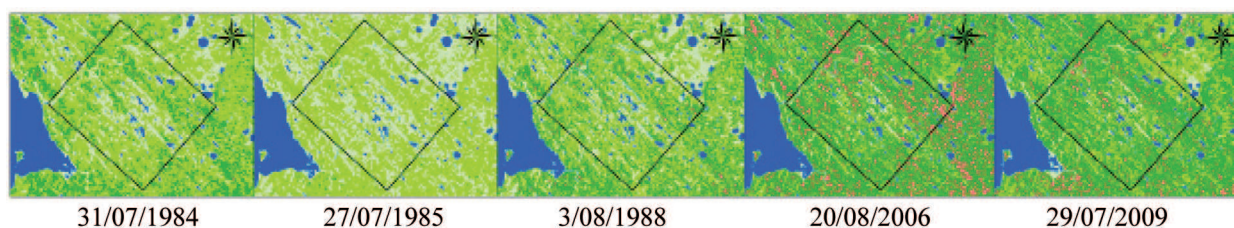


Рис. 5. Динамика максимальных значений нормализованного вегетационного индекса с 1984 по 2009 гг.

4. В пределах ключевого участка за период с 1986 г. по 2010 г. установлен сдвиг кривой распределения площадей с разными значениями NDVI (от 0 до 0,6 и выше) в сторону увеличения доли площадей с более высокими значениями NDVI (рис. 6). При этом максимальные значения NDVI в течение вегетационного периода возросли от 0,3-0,35 к 0,45-0,50.

Это свидетельствует о возрастании зеленой биомассы в пределах ключевого участка за исследованный период, что происходит, по-видимому, как за счет увеличения продуктивности трав, кустарничков и кустарников в пределах геоботанических контуров, так и вследствие расширения площадей таких контуров.

5. Мы проследили межгодовую динамику (с 1986 г. по 2010 г.) значений NDVI в разных типах растительных сообществ, различающиеся по ландшафтно-экологической приуроченности и проективному покрытию (ПП), – от сообществ и группировок на наиболее высоких элементах рельефа с разреженным растительным покровом (ПП <10 %) до сомкнутых кустарниковых и луговых сообществ (ПП 100 %), располагающихся на пониженных и защищенных элементах рельефа. Установлено, что, несмотря на существенные межгодовые колебания вегетационного индекса, тенденция нарастания зеленой массы прослеживается во всех типах растительных сообществах (рис.7).

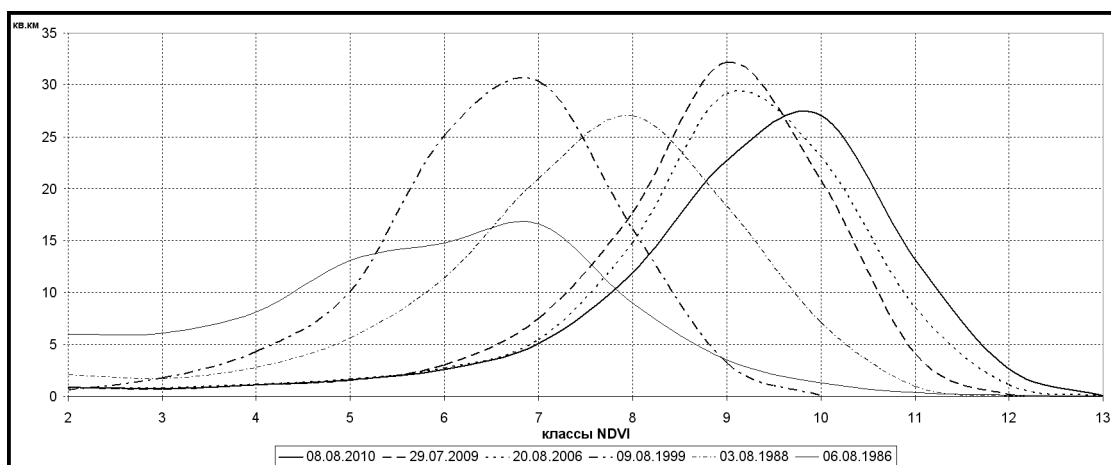


Рис. 6. Динамика распределения в пределах ключевого участка площадей с разными значениями NDVI выше 0 за период 1986-2010 гг. (1 класс NDVI со значениями <0 исключен из графика), где классы NDVI: 2 – 0,0-0,1; 3 – 0,11-0,15; 4 – 0,16-0,20; 5 – 0,21-0,25; 6 – 0,26-0,30; 7 – 0,31-0,35; 8 – 0,36-0,40; 9 – 0,41-0,45; 10 – 0,46-0,50; 11 – 0,51-0,55; 12 – 0,56-0,60; 13 – >0,60

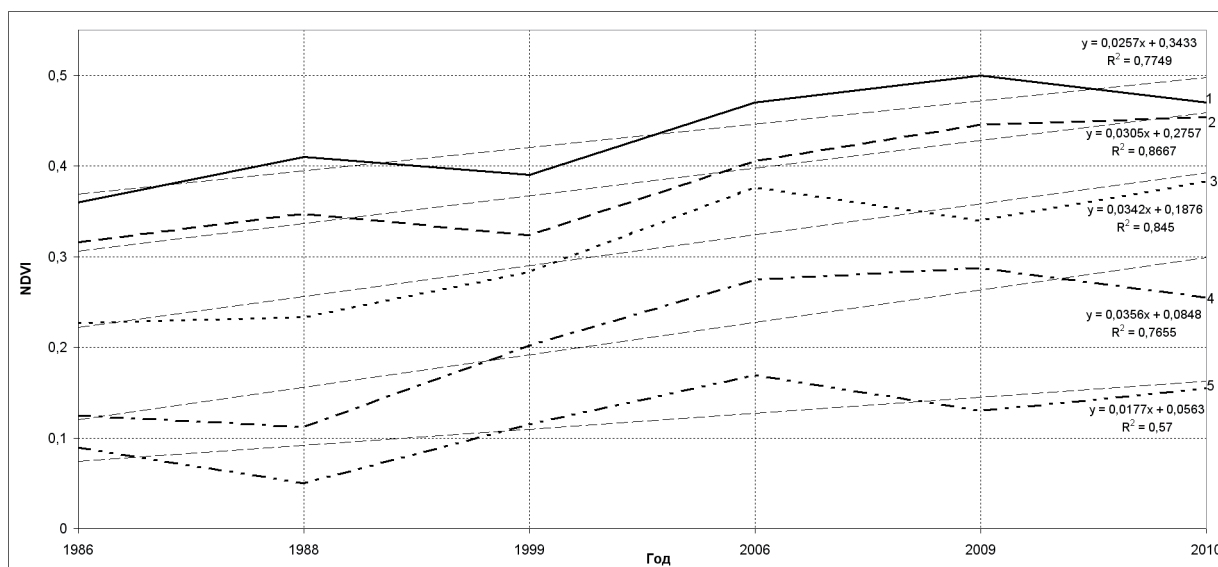


Рис. 7. Межгодовая динамика максимальных значений NDVI для разных типов растительных сообществ на острове Вайгач (пунктиром приведены линейные тренды, их уравнения и достоверность R²), где 1. Ивово-луговое разнотравно-осоково-моховое сообщество, ПП = 100 %; 2. Ивняк низкорослый (30-50 см высоты, с *Salix lanata*) травяно-моховый, ПП = 100 %; 3. Тундры редкочвняковые (*Salix arctica*)-осоково (*Carex rariflora*, *C. arctisibirica*)-моховые, иногда с пятнами-медальонами, ПП = 80-100 %; 4. Тундры осоково (*Carex rupestris*, *C. misandra*)-дриадовые, осоково (*Carex arctisibirica*)-кустарничково-мохово-лишайниковые, дриадово-цетрариевые в верхней части каменистых выпуклых и покатых гряд, ПП = 30-60 %; 5. Тундры и группировки песчанково-подорожниковые и смолекково-ивковые (*Salix arctica*, *S. reptans*, *S. nuttularia*) на прибрежных участках, ПП < 15 %

Таким образом, процессы динамики растительного покрова под влиянием климатических изменений, выявленные для тундровой зоны североамериканского континента, в значительной степени характерны и для острова Вайгач, расположенного в европейском секторе Арктики.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 10-04-01114-а) и Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Биологическое разнообразие».

Литература

1. *Anisimov O.A., Vaughan D.G., Callaghan T.V., Furgal C., Marchant H., Prowse T.D., Vilhjalsson H., Walsh J.E.* (2007) Polar regions (Arctic and Antarctic). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability // Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. 2007. P. 653-685.
2. *Bhatt U.S., Walker D.A., Raynolds M.K., Comiso J.C., Epstein H.E., Jia G., Gens R., Pinzon J.E., Tucker C.J., Tweedie C.E., Webber P.J.* (2010) Circumpolar Arctic Tundra Vegetation Change Is Linked to Sea Ice Decline // *Earth Interactions*. 2010. Vol. 14. Paper № 8. P.1-20.
3. *Gould, W.A., Mercado-Díaz J.A., Zimmerman J.K.* (2009) Twenty year record of vegetation change from long-term plots in Alaskan tundra // *Long Term Ecological Research Network All Scientists Meeting, September 14-16 2009, Estes Park*. Abstract C11C-0524.
4. ACIA. Cambridge: Cambridge University Press. 2005. P. 781-862.
5. *Hill G.B., Henry G.H.R.* (2010) Responses of High Arctic wet sedge tundra to climate warming since 1980 // *Global Change Biology*. 2010. № 17. P. 276-287.
6. *Hudson, J.M.G., Henry G.H.R.* (2009) Increased plant biomass in a High Arctic heath community from 1981 to 2008 // *Ecology*. 2009. №90. P. 2657-2663.
7. *Lantz T.C.* (2008) Relative influence of temperature and disturbance on vegetation dynamics in the Low Arctic: An investigation at multiple scales // *Ph.D. thesis*. Vancouver. University of British Columbia. 2008. 167 p.
8. *Nghiem S.V., Rigor I.G., Petrovich D.K., Clemente-Coloon P., Weatherly J.W., Neumann G.* (2007) Rapid reduction of Arctic perennial sea ice // *Geophys. Res. Lett.* 2007. Vol. 34. L19504. P. 1-6.
9. *Sturm M., Racine C., Tape K.* (2001) Increasing shrub abundance in the Arctic // *Nature*. 2001. № 411. P. 546-547.
10. *Slayback D.A., Pinzon J.E., Los S.O., Tucker C.J.* (2003) Northern hemisphere photosynthetic trends 1982-99 // *Global Change Biol.* 2003. № 9. P. 1-15.
11. *Sitch S., Smith B., Prentice I.C., Arneth A., Bondeau A., Cramer W., Kaplan J.O., Levis S., Lucht W., Sykes M.T, Thonicke K., Venevsky S.* (2003) Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ dynamic global vegetation model // *Global Change Biol.* 2003. № 9. P. 161-185.
12. *Tape K., Sturm M., Racine C.* (2006) The evidence for shrub expansion in Northern Alaska and the Pan-Arctic // *Global Change Biol.* 2006. № 12. P. 686-702.
13. *Walker D.A., Epstein H.E., Jia G.J., Balsler A., Copass C., Edwards E.J., Gould W.A., Hollingsworth J., Knudson J., Maier H.A., Moody A., Raynolds M.K.* (2003) Phytomass, LAI, and NDVI in northern Alaska: Relationships to summer warmth, soil pH, plant functional types, and extrapolation to the circumpolar Arctic // *J. of Geophysical Research*. 2003. V. 108, № D2, 8169, doi:10.1029/2001JD000986. P. 1-7.
14. *White, A., Cannel M.G.R., Friend A.D.* (2000) The high-latitude terrestrial carbon sink: a model analysis // *Global Change Biol.* 2000. № 6. P. 227-245.

Vegetation dynamics of the Vaigach Island under climate change impact

I. Lavrinenko

*Komarov Botanical Institute Russian Academy of Sciences
197376 St.-Petersburg, 2 Professor Popov str.
E-mails: lavrinenkoi@mail.ru*

The processes of vegetation dynamics under climate change impact that have been identified for North American tundra zone, are also typical to a large extent for the Vaigach Island located in the European sector of the Arctic. Thus, the average NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) has distinctively increased over the past thirty years on a sample plot. In 1984-1988 vegetation contours with NDVI values not exceeding 0.3-0.4 predominated, and in 2006-2010 those above 0.4 prevailed. The tendency of green phytomass elevation clearly visible in the different phytocoenosis types from sparse vegetation (projective cover less than 10%) to dense shrub and meadow communities (projective cover about 100%) was established. Besides, about 2 weeks displacement of maximum green plants biomass accumulation happened in 2006-2010 in comparison with 1984-1986 (from July – early August to the second decade of August).

Keywords: climate change, the dynamics of vegetation, the island Vaigach, arctic islands, NDVI.