

*В. В. ЕЛСАКОВ, Е. Е. КУЛЮГИНА, В. М. ЩАНОВ*

**ТРЕНДЫ ИЗМЕНЕНИЙ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ЮГОРСКОГО ПОЛУОСТРОВА ПОСЛЕДНЕГО ДЕСЯТИЛЕТИЯ: СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИСТАНЦИОННЫХ И ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28, [elsakov@ib.komisc.ru](mailto:elsakov@ib.komisc.ru)

**Введение**

Метеорологические наблюдения, выполненные для европейского Северо-Востока России, демонстрируют наличие устойчивого тренда потепления, начавшегося с 1970-х гг. и получившего наибольшую скорость развития в 1980-х гг., который получил название «современное потепление климата» (Анисимов, Белолуцкая, 2003; Павлов, 2003). Во второй половине 1990-х, 2001–2005 гг. потепление оценивается как очень слабое (Павлов, 2008; Мельников и др., 2007). Увеличение температуры выступает инициатором роста продуктивности тундровых сообществ (Scott et al., 2005). Для сообществ Арктики прогнозируются различные тенденции, происходящие в растительном покрове: усиление роли травянистых растений (Erstein et al., 2004) и рост участия злаковых сообществ (Виноградов и др., 1999; Биткаева, Николаев, 2000; Новикова и др., 2004), увеличение обилия кустарников (Sturm, 2001; Tare et al., 2006) и кустарничков за счет удлинения продолжительности вегетационного сезона (Karlsen et al., 2009), уменьшение площади ягельников (Оценочный..., 2008).

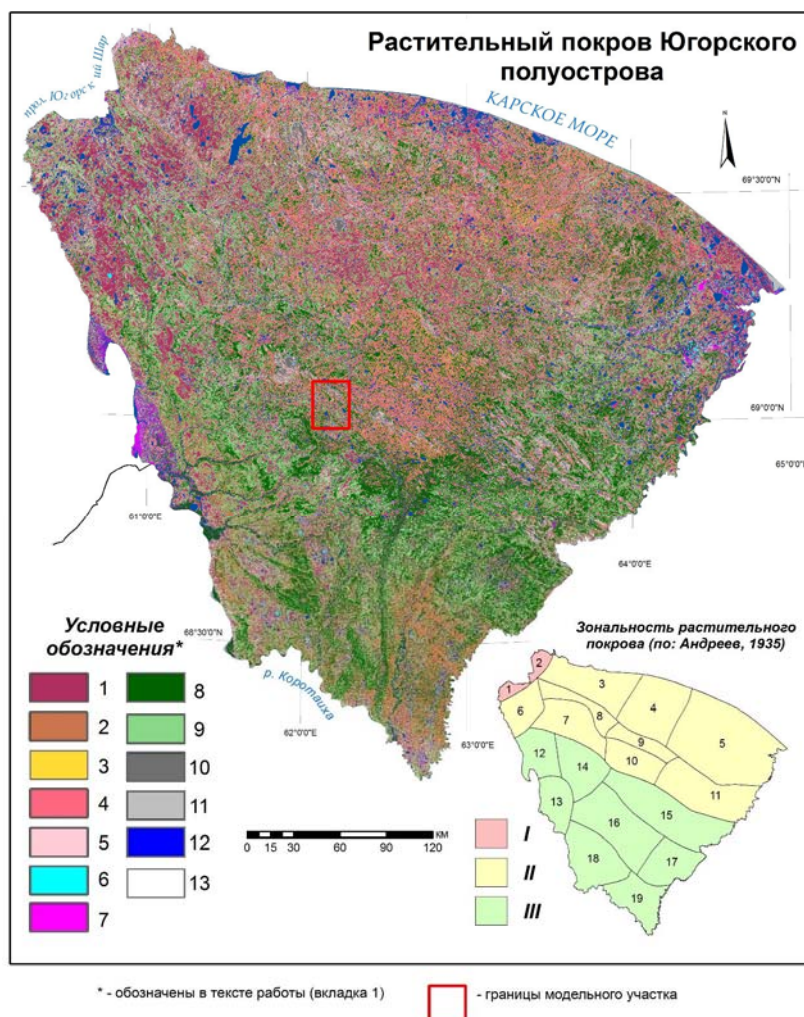
Территория между р. Печорой и Уралом рассматривается в качестве интенсивно меняющейся в связи с изменениями климатических условий последних десятилетий, что определяется распространением высокотемпературных (до  $-3^{\circ}\text{C}$ ) и весьма динамичных многолетнемерзлых пород (Оберман, 2007). Как хорошо известно, одной из интегрирующих характеристик, раскрывающих происходящие изменения, выступает растительный покров.

Несмотря на то, что восточная часть Большеземельской тундры, Югорского п-ова и прилегающие районы привлекали внимание многих исследователей-ботаников (Керцели, 1911; Городков 1935; Андреев 1935, 1954; Руофф, 1960; Дорогостайская, 1963, 1972; Хантимер, 1974; Ребристая, 1977; Грибова, 1977, 1980; Дружинина, Мяло, 1990; Лавриненко, 2010), к настоящему времени имеются лишь краткие сведения о растительности Югорского полуострова. Наиболее полным обобщением по растительному покрову полуострова, включающим характеристику сообществ и их площадное соотношение, описание зональных особенностей и геоботаническое районирование, остается работа В. Н. Андреева (1935). Привлечение материалов данной публикации в качестве отправной точки позволяет выявить общие закономерности и направленность процессов трансформации территории под влиянием климатических и погодных флуктуаций и усилившегося хозяйственного влияния.

Развитие технологий спутникового мониторинга, создание банков данных разновременных изображений позволили существенно расширить возможности оценки пространственного распределения и подойти к вопросу анализа трендов изменений количественных показателей. Системы спутникового мониторинга, выполняющие периодическую съемку высокого разрешения (Landsat, Aster), а также осуществляющие ежедневный прием данных среднего разрешения MODIS (250 м), существенно расширили возможности анализа направленности и трендов сезонных и межгодовых изменений количественных показателей растительного покрова. Материалы спутниковых съемок становятся важными источниками дан-

ных для анализа современного состояния, степени устойчивости и изменений многих труднодоступных территорий. Предметом настоящего исследования стали временные изменения растительного покрова территории Югорского п-ва последнего десятилетия (2000–2012 гг.), как реакция на региональные климатические и погодные флуктуации.

Исследуемая территория относится к Урало-Пайхойской подпровинции (Александрова, 1977) или Предуральско-Уральской (Александрова и др., 1989) подпровинции Восточноевропейско-Западносибирской провинции субарктических тундр. Она лежит в пределах средних и северных субарктических тундр по В. Д. Александровой (1977), северных и мелкоерниковых южных – по С. А. Грибовой (1980), типичных – по Н. В. Матвеевой (1998), северных и южных по карте Нечерноземья (Александрова и др., 1989), северных и южных гипоарктических – по карте «Зоны и типы поясности России и сопредельных территорий» (1999). Однако мы следуем геоботаническому районированию, предложенному В. Н. Андреевым в 1935 г., так как его данные могут быть использованы как наиболее ранние, позволяющие судить об изменениях растительного покрова за 80 лет. В. Н. Андреев на Югорском полуострове выделял три подзоны (цв. вкладка 1):



I. *Подзона полигональных тундр и осоковых болот*

р-н Югорско-Вайгачский: 1 – окр. с. Хабарова (1)\*; 2 – Юшарский (2)

II. *Подзона моховых тундр и осоковых болот*

р-н Карского побережья: 3 – Закаменный (2), 4 – басс. р.Талаты (2), 5 – Хапторка-мусюр (3, 4)

р-н Пай-Хоя: 6 – р. Пустынная (5), 7 – низм. р. О-ю (3, 4 и 6), 8 – с.-в. хребты (3, 4 и 7), 9 – хр. Хупту-пэй (2, 7), 10 – хр. Туричей-из (3, 4), 11 – басс. р.Кара (8)

III. *Подзона мохово-ивняковых тундр*

р-н Коротайской лапты: 12 – сев. возвышенная лапта (3, 9), 13 – низовья р. Кортаихи (10)

р-н Северо-Коротайский: 14 – предгорья Пай-Хоя (Дзеля-из) (3, 4, 11 и 12), 15 – возвышенные водоразделы (3, 6), 16 – Сады-Мусюр (5, 11, 13), 17 – Нямдо-мусюр (3, 6), 18 – средн. течение р. Кортаиха (3, 11, 14), 19 – Низовья р. Хэй-яга (3, 4, 11).

\* – в скобках приведены доминирующие фитоценозы по участкам (схема В. Н. Андреева, 1935): 1 – полигональные тундры, 2 – осочники, 3 – моховые тундры, 4 – осоковые тундры, 5 – осоковые болота, 6 – редкоивняковая тундра, 7 – горные лишайниковые тундры, 8 – заболоченные моховые тундры, 9 – ерниково-моховая тундра, 10 – кустарничково-лишайниковые тундры, сильно выбитые, 11 – ивняк, 12 – луговины, 13 – бугристые болота, 14 – участки лишайниковой тундры на песках.

Граница между второй и третьей подзонами соответствует южной границе Пай-Хоя. Зональное положение занимают в прибрежной части полигональные тундры, на севере – моховые тундры, на юге – редкоивняковые тундры (Андреев, 1935). Ландшафты территории представлены следующими основными типами (цв. вкладка 2, рис. Д: Оберман, Шеслер, 2009):

1 – речные долины и водные акватории, сложенные верхнеплейстоценовыми и современными преимущественно песчаными толщами;

2 – низкие верхнечетвертичные и современные сильно заболоченные заторфованные и заозеренные аккумулятивные плоские морские и аллювиально-морские равнины, сложенные преимущественно песчаными толщами с плоскобугристыми торфяниками;

4 – средне-верхнечетвертичные локально заболоченные, аккумулятивные и денудационно-аккумулятивные озерно-аллювиальные, реже- флювиогляциальные равнины, сложенные суглинистыми, реже песчаными грунтами;

5 – среднечетвертичные денудационно-аккумулятивные морские равнины, сильно заозеренные, местами оторфованные, сложенные преимущественно песчаными толщами с полями плоскобугристых торфяников;

6 – среднечетвертичные аккумулятивно-денудационные ледово-морские равнины, сложенные преимущественно суглинистыми отложениями с гравием и галькой и прослоями супесчаных и гравийно-песчаных грунтов;

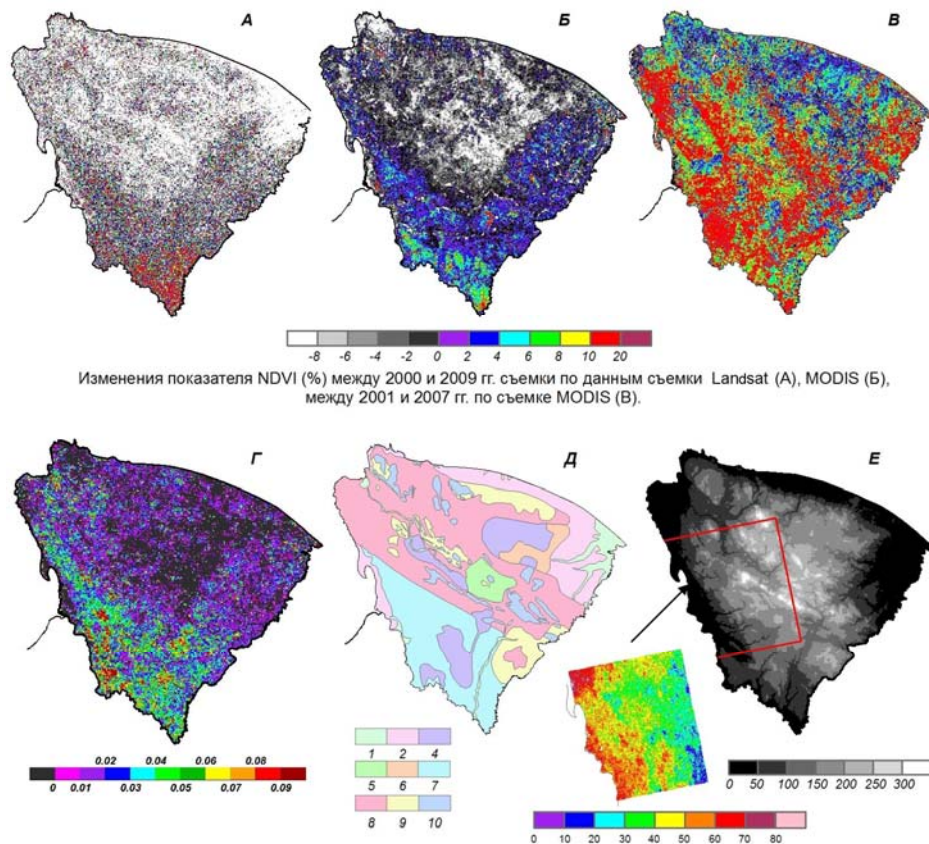
7 – цокольные равнины, сложенные полускальными и скальными породами, перекрытыми в основном суглинистыми отложениями с гравием и галькой;

8 – наклонная и цокольная равнины в горно-складчатых сооружениях Урала и Пай-Хоя; осадки разного генезиса и литологического состава на коренных породах;

9 – денудационно-эрозийные низкогорья с верхнечетвертичными и современными преимущественно грубозернистыми отложениями;

10 – экзарационные низкогорья и среднегорья с обнажениями скальных пород, с верхнечетвертичными и современными преимущественно крупноглыбовыми отложениями.

Междуречье рек Васьяха и Большая Ою (район г. Малая Падея) было выбрано модельным участком для работы комплексной экспедиции Института биологии Коми НЦ УрО РАН на территории Югорского п-ва. В 2010 г. проведено геоботаническое обследование данной территории. Материалы наземных исследований с



Изменения показателя NDVI (%) между 2000 и 2009 гг. съемки по данным съемки Landsat (А), MODIS (Б), между 2001 и 2007 гг. по съемке MODIS (В).  
 Тренд изменения показателя NDVI по данным анализа максимумов значений индекса NDVI (MODIS) для 12 лет наблюдений (период 2000-2011 гг.) (Г). Значение показателя представлено в изменении NDVI\*10<sup>2</sup>/10 лет. Доминирующие типы ландшафтов территории (сост: Оберман, 2009, М 1 : 1 500 000) (Д). Цифровая модель рельефа территории (метров над ур. м.) и схема распределения толщины снежного покрова (см) по результатам спутниковой радиолокационной дифференциальной интерферометрии пар ранне-весеннего (6.3.2007) и летнего (22.7.2007) изображений (Е). Материалы съемки ALOS/Palsar.

использованием спутниковых изображений Landsat (TM 5 съемка 21.7.2000 г и 13.7.2009 г) и данных аэровизуальных вертолетных наблюдений позволили провести геоботаническое картирование в масштабе 1 : 100 000.

Ключевой участок является в основном наклонной и цокольной равнинами и денудационно-эрозийными низкогорьями. В меньшей степени представлены локально заболоченные, аккумулятивные и денудационно-аккумулятивные озерно-аллювиальные равнины (цв. вкладка 2, рис. Д).

Для выявления возможных климатогенных изменений территории были собраны данные по основным метеорологическим параметрам (среднесуточные температуры приземного воздуха и количество осадков) метеостанций Воркута и Хоседа-Хард, подготовлены разногодные изображения нормализованного разностного индекса состояния растительного покрова (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index). Расчет показателя выполнен как нормализованная разность яркостей элементов изображения (пикселей) в видимом красном (0.63–0.69 мкм, максимум поглощения) и ближнем инфракрасном (0.76–0.9 мкм, максимум отражения) диапазонах:

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED) \tag{1}$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра, RED – отражение в красной области спектра. Вследствие основной роли хлорофилла в формировании спектральных особенностей фитоценозов и высокой корреляции между проективным содержанием хлорофилла и запасом наземной фотосинтетически активной фитомассы (Tieszen, Johnson, 1968), индекс часто используется для интегральной оценки запаса наземной биомассы различных фитоценозов. Так, между величинами наземной фитомассы ( $\text{г/м}^2$ ) и NDVI для циркумполярной области (по съемке AVHRR) данная зависимость представлена в виде экспоненциальных функций:

$$y = 26.58e^{6.9357x}, R^2 = 0.89 \text{ (Raynolds et al., 2006)} \quad (2)$$

$$y = 24.907e^{7.1665x}, R^2 = 0.89 \text{ (Walker et al., 2003)} \quad (3)$$

Для тундр Ямала связь значений NDVI в наземных измерениях и фотосинтетически активной биомассы ( $\text{г/м}^2$ ):

$$y = 37.265e^{3.495x}, R^2 = 0.62 \text{ (Epstein et al., 2009)} \quad (4)$$

Для приморских лугов, с доминированием однолетних травянистых псаммофитов (по данным Landsat) зависимость представлена в виде линейной функции:

$$y = 1612.5x - 131.6, R^2 = 0.83 \text{ (Елсаков, Щанов, 2005)} \quad (5)$$

Вследствие эпизодичности и отсутствия достаточного количества разносезонных съемок Landsat, их редкой годовой повторяемости, выполнение межгодовых и сезонных оценок изменений количественных показателей фитоценозов проводилось с привлечением более доступных, но имеющих более низкое пространственное разрешение сенсоров Terra-MODIS (MOD13Q1.005). Размер пиксела данных изображений  $0.25 \times 0.25$  км, период временного охвата 2000–2011 гг. (источник данных: modis.gsfc.nasa.gov). С целью выявления влияния пространственного разрешения на получаемые характеристики для данных Landsat и MODIS проведен анализ сопоставимости получаемых результатов изменений для общих лет и периодов съемки.

Временные композиты изображений NDVI сенсоров MODIS были составлены из максимальных значений за 16 дневной период. В связи со значительной протяженностью территории, приводящей к возможным различиям в наступлении фенологических фаз, в качестве анализируемого показателя для каждого года наблюдений выбирали только величины с наибольшими значениями индекса за год ( $\text{NDVI}_{\text{MAX}}$ ), что в целом соответствует периоду максимального развития наземной фитомассы за вегетационный период. В связи с тем, что территория характеризуется присутствием большого количества дней с полужасным и пасмурным состоянием атмосферы, а данный показатель способен оказать существенное влияние на величины NDVI, для учета изменений были использованы величины индекса, входящие в доверительный интервал варьирования показателя за период 2000–2011 гг. ( $n = 11, p < 0.05$ ). На основании полученных величин рассчитывали тренды изменений индекса  $\text{NDVI}_{\text{MAX}}$  за 11-летний период наблюдений.

При выявлении особенностей межгодовых изменений в распределении фитомассы доминирующих сообществ выполняли сопоставление данных съемок для вегетационных периодов отдельных лет с более высокими и низкими значениями среднемесячных температур воздуха. Полученные величины стали основой для выявления изменений растительного покрова для лет, различающихся температурным режимом вегетационного периода. Для этого выделяли пиксели MODIS, однородные по ценогическому составу, в соответствии с правилом: пиксел считался однородным, если в его составе отмечено не менее 80% площади, занимаемой более или менее однородной растительностью, выделенной по изображению Landsat.

### Растительность ключевого участка

Растительность ключевого участка представлена осоково-кустарничково- (лишайниково-) моховыми (*Carex arctisibirica*, *Salix polaris*, *Salix reticulata*, *Salix lanata*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Dryas octopetala* – *Hylocomium splendens*, *Aulacomnium turgidum*, *Tomenthypnum nitens*, *Ptilidium ciliare*, *Thamnia vermicularis*), травяно-кустарничково-мохово-лишайниковыми (*Dryas octopetala*, *Salix nummularia*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Salix polaris*, *Carex arctisibirica*, *Equisetum arvense* – *Racomitrium lanuginosum*, *Polytrichum hyperboreum*, *Cladonia arbuscula*, *Sphaerophorus globosus*, *Flavocetraria cucullata*, *Flavocetraria nivalis*, *Thamnia vermicularis*, *Stereocaulon alpinum*) тундрами, разнотравно-моховыми ивняками (с различной степенью сомкнутости кустарничкового яруса) (*Salix glauca*, *S. lanata*, *S. phylicifolia*, *Equisetum arvense*, *Bistorta vivipara*, *Petasites frigidus*, *Polemonium acutiflorum*, *Valeriana capitata*, *Cardamine pratensis*, *Ranunculus propinquus*, *Saxifraga cernua*, *Festuca richardsonii*, *Thalictrum alpinum*, *Pachypleurum alpinum*, *Myosotis asiatica*, *Saxifraga hieracifolia* – *Hylocomium splendens*, *Plagiommium ellipticum*, *Sanionia uncinata*), луговинными (*Carex concolor*, *Alopecurus pratensis*, *Poa pratensis*, *Polemonium acutiflorum*, *Calamagrostis holmii* – *Polytrichum commune*, *Sanionia uncinata*), и прибрежно-водными сообществами (*Arctophila fulva*, *Carex aquatilis*), а также морошково-сфагновыми (*Rubus chamaemorus*, *Eriophorum scheuchzeri* – *Sphagnum warnstorffii*, *Sphagnum girgensohnii*, *Sphagnum russowii*, *Sphagnum squarrosum*) и осоково-моховыми болотами (*Carex concolor* – *Warnstorffia exannulata*, *Calligon cordifolium*) (Елсаков, Кулюгина, 2011). Полученный спектр сообществ на основе 78 описаний соответствует выделенному ранее для данной территории (Андреев, 1935, Ребристая, 1977).

Использование материалов полевых наблюдений в комбинации с данными спутниковой съемки и аэровизуальных маршрутов позволили выделить следующие группы растительных сообществ (цв. вкладка 1):

1. Осоково-кустарничково-(лишайниково)-моховые тундровые сообщества (10 описаний, 18.6% площади модельного участка) располагаются в верхних частях невысоких возвышенностей, на поверхности которых встречаются пятна мозолистого пучения. Площадь сообществ до 100–300 м<sup>2</sup>. Высота травостоя минимальна – до 20 см. Видовой состав богатый – 44–58 видов. Доминируют *Carex arctisibirica*, *Salix polaris*, *S. reticulata*, *S. lanata* (стелющейся формы роста), обильны такие кустарнички, как *Vaccinium vitis-idaea*, *Dryas octopetala*. Обычна примесь видов разнотравья (*Bistorta vivipara*, *Hedysarum arcticum*, *Pyrola grandiflora*, *Myosotis asiatica* и др.), злаков (*Festuca ovina*, *Arctagrostis latifolia*, *Poa arctica*). Мхи (*Hylocomium splendens*, *Aulacomnium turgidum*, *Tomenthypnum nitens*, *Ptilidium ciliare* и др.) образуют плотный ковер толщиной до 8–10 см. Покрытие лишайников варьирует от единичного до 30%. С высокой степенью постоянства, но малым обилием присутствуют *Stereocaulon alpinum*, *Flavocetraria cucullata*, *Peltigera aphthosa*, *Cetraria islandica*, *Thamnia vermicularis*.

2. Травяно-кустарничково-мохово-лишайниковые тундры (11 описаний, 6.1%) формируются по самым сухим местообитаниям ключевого участка – вершинам холмов, высоким берегам рек и озер, нагорным террасам среди курумников на высоте 200–330 м н. у. м., слабонаклонным поверхностям (3–5°), преимущественно южной экспозиции. Занимают небольшие площади: вдоль рек вытянуты полосами шириной до 30 м, в предгорной части имеют до 60 м в диаметре, на хребте достигают в длину 100 м и более при ширине 20–50 см. В сообществах отмечены пятна пучения. Высота травостоя минимальна – до 15–20 см. Число видов варьирует от 37 до 54. Доминируют кустарнички: *Dryas octopetala*, *Salix nummularia*, *S. polaris*,

*Vaccinium vitis-idaea*. Из трав важную роль играют *Carex arctisibirica*, *Equisetum arvense*, *Festuca ovina*. Постоянны и обильны мхи (*Racomitrium lanuginosum*, *Hylocomium splendens*, *Polytrichum hyperboreum*, *Ptilidium ciliare*, *Aulacomnium turgidum*) и лишайники (*Cladonia arbuscula*, *Sphaerophorus globosus*, *Flavocetraria cucullata*, *F. nivalis*, *Thamnolia vermicularis*, *Stereocaulon alpinum*). Проективное покрытие лишайников до 50-80%. Отличительная особенность этих тундр состоит в присутствии *Betula nana* (в других сообществах ключевого участка этот вид отсутствует).

3. Ивняки разнотравно-моховые (10 описаний, 22.6%) сосредоточены на равнинах между возвышенностями, нижних частях склонов, вдоль водотоков, на берегах озер. Высота кустарников и их сомкнутость максимальна для сообществ на ключевом участке ( $h = 1-1,7$  м и  $0,8-0,95$ ). Видов в сообществах насчитывается 26-52. Основные ценозообразователи – *Salix glauca*, *S. lanata*, из разнотравья постоянны *Equisetum arvense*, *Bistorta vivipara*, *Petasites frigidus*, *Polemonium acutiflorum*, *Valeriana capitata*, *Cardamine pratensis*, *Ranunculus propinquus*, *Saxifraga cernua*, *Festuca richardsonii*, *Thalictrum alpinum*, *Pachypleurum alpinum*, *Myosotis asiatica*, *Saxifraga hieracifolia*; из мхов – *Plagiomnium ellipticum*, *Sanionia uncinata*.

4. Ивняки разреженные травяно-моховые (20.7%) встречаются как в предгорной части ключевого участка, вблизи озер, отличаясь большей увлажненностью, присутствием сфагновых мхов, осок и морошки (5 описаний), так и на пологих склонах ( $5-10^\circ$ ) возвышенностей (10 описаний), в этом случае обилие кустарничков может быть значительным. Фитоценозы характеризуются большим разнообразием видов травянистых растений (34-59 видов на склонах, 9-46 видов около озер). Такие сообщества могут достигать 300-500 м в диаметре. Высота кустарников 50-60 см (максимально – до 80 см), распределены разреженно (сомкнутость 0,6-0,7). В нижних ярусах обильны разнотравье, злаки, мхи. Доминируют в сообществах *Salix glauca*, *S. lanata*, *S. phylicifolia*, при значительном участии *Salix reticulata*, *S. polaris*. Из трав наиболее постоянны *Carex arctisibirica*, *C. lachenalii*, *Equisetum arvense*, *Bistorta vivipara*, *Parnassia palustris*, *Thalictrum alpinum*, *Myosotis asiatica*, *Saxifraga hieracifolia*, *Valeriana capitata*, *Ranunculus propinquus*, *Petasites frigidus*, из мхов – *Hylocomium splendens*, *Sanionia uncinata*.

5. Разнотравно-осоково-моховые луга (2.7%) встречаются на равнинах между холмами, часто в окружении разреженных травяно-моховых ивняков, на зарастающих берегах озер (6 описаний), вдоль водотоков полосами шириной 10-50 м. Размер сообществ варьирует от 10-50 м в диаметре до 30×300 м. Высота травостоя составляет 30-50 см. Сообщества сомкнутые. На водоразделах на лугах доминируют *Carex concolor*, *Polemonium acutiflorum*, *Calamagrostis holmii*, из мхов – *Polytrichum commune* и *Sanionia uncinata*. Вблизи водотоков наряду с *Carex concolor* обильны злаки: *Alopecurus pratensis*, *Poa pratensis*. Постоянны *Equisetum arvense*, *Caltha arctica*, *Comarum palustre*, *Ranunculus propinquus*, *Tanacetum bipinnatum*, *Epilobium alpinum*, *Galium uliginosum*. Характерно присутствие ив – *Salix lanata*, *S. glauca*, *S. phylicifolia*. В моховом покрове наибольшим постоянством обладают *Pohlia nutans*, *Calliergon cordifolium*, *Rhizomnium pseudopunctatum*.

6. Осоково-моховые болота (11 описаний, 11.1%) занимают большие площади в депрессиях рельефа, часто в условиях избыточного увлажнения, приурочены также к берегам термокарстовых озер. Высота травостоя 40-50 см. Доминирует *Carex concolor* и зеленые мхи – *Warnstorfia exannulata*, *Calliergon cordifolium*. В сообществах постоянно участвуют в небольшом обилии виды разнотравья: *Caltha arctica*, *Epilobium palustre*, *Cardamine pratensis*, *Comarum palustre*.

7. Мезотрофные болота (2.3%) отмечены в горной и в равнинной частях ключевого участка, небольшие по площади. Мы полагаем, что они образуются на этой территории аналогично процессу, описанному в литературе для Карского побере-

жья и Пай-Хойя (Андреев, 1935) – в результате нарастания сфагновых мхов на осочниках. Растения высотой до 25 см. Доминируют *Rubus chamaemorus*, *Eriophorum scheuchzeri* и сфагновые мхи (*Sphagnum warnstorffii*, *Sphagnum girgensohnii*, *Sphagnum russowii*, *Sphagnum squarrosum*).

8. Прибрежно-водные сообщества (3 описания, 3.3%) встречаются по кромкам озер, ручьев, рек небольшими по площади участками, обводнены, высота растений до 60 см. Сообщества крайне бедные, включают по 4–10 видов. Из сосудистых растений доминируют *Arctophila fulva* или *Carex aquatilis*, постоянна *Caltha arctica*, из мхов – *Warnstorffia exannulata*.

9. Ерниковые тундры (6.1%) в районе ключевого участка отсутствуют, но отмечены в южной части Югорского полуострова, где встречены ивняково-мелкоерниковые моховые тундры с господством *Betula nana* и примесью *Salix glauca*, *S. lanata*. Они занимают привершинные и средние части пологих склонов холмов и увалов с маломощным снежным покровом и близким залеганием мерзлоты. Основная ценозообразующая роль в них принадлежит напочвенному покрову, состоящему преимущественно из мхов, а значение кустарников сведено к минимуму. Кустарниковый ярус разрежен, высотой до 35 см. Из кустарничков обильны *Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium vitis-idaea*, *V. uliginosum*, из трав – *Carex arctisibirica*, постоянно в небольшом обилии, встречаются *Calamagrostis lapponica*, *Poa arctica*, *Festuca ovina*, *Petasites frigidus*, *Valeriana capitata*, *Saussurea alpina*, *Bistorta vivipara* и др. Проективное покрытие травянистых растений в сообществах невелико. В моховом покрове доминируют *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Aulacomnium turgidum*, кроме них встречаются *Ptilidium ciliare*, *Dicranum angustum*, *D. congestum*. Из лишайников можно встретить (с небольшим обилием) *Peltigera aphthosa* и *Nephroma arcticum* (Андреев, 1935; Грибова, 1980; Ненецкий..., 2001).

На снимках выделяются также экотопы, на которых растительный покров отсутствует. К ним относятся:

10. Гольцы (1.0% территории);
11. Песчаные пляжи, отмели и бечевники (0.7%);
12. Водотоки и водоемы (4.7%);
13. Снежники (0.2%).

Анализ корректности данных растрового спутникового изображения и геоботанических описаний демонстрирует хороший уровень сходимости (табл. 1). Для модельного участка общая сходимость выделенных единиц составила 61.5%, каппа 55.7%. Наиболее полно совпали данные снимков с местами распространения травяно-кустарничково-лишайниково-моховых тундр (сходимость 100%), ивняков разнотравно-моховых (90%) и ивняков разреженных разнотравно-моховых (86.7%), прибрежно-водных сообществ (100%). Меньшие величины отмечены для травяно-кустарничково-мохово-лишайниковых тундр (61.5%). Частые ошибки в детектировании касаются луговин (25.0%) и осоково-моховых болот.

Своеобразие и уникальность района модельного участка, отличающие его от других мест Большеземельской тундры, выражается в однородности растительного покрова. На большом протяжении он плавно изменяется в связи со сменой форм рельефа и сильной заболоченностью. Здесь в значительной степени сказывается влияние многолетнемерзлых пород, имеющих сплошное распространение. Из-за суровости климатических условий региона (низких температур, сильных северных ветров в течение короткого вегетационного периода, высокой влажности воздуха и почвы) значительно замедляются процессы нарастания мхов и связанное с этим торфонакопление, что приводит к широкому распространению за-

болоченных моховых тундр и низинных болот с осокой (*Carex concolor*). Кроме них значительные площади в этом районе заняты редкостебельными тундрами. На песчаных почвах формируются мохово-лишайниковые тундры со злаками.

Таблица 1

Оценка сходимости данных спутниковых съемок с данными полевых наблюдений (n = 78)

Описания	Классы по Landsat										Сходимость, %	
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	Итого		
1	10										10	100.0
2	3	8				1				1	3	61.5
3	1		9								4	90.0
4			2	13							11	86.7
5			2	3	3			4			10	25.0
6			3	3		–		5			15	–
7	2						2				13	50.0
8								3			12	100.0
Итого	1	8	16	19	3	1	2	12	1		78	
Сходимость	–62.5	100.0	56.3	68.4	100.0	–	100.0	25.0	–			

Горные возвышенности хребта Пай-Хой (г. Малая Пядея), сложенные кристаллическими сланцами и осадочными песчаниковыми породами, мергелями и известняками, обуславливают наличие небольших участков горной (лишайниковой) тундры.

Сравнительный анализ площадей растительных сообществ по опубликованным данным (Андреев, 1935) и площадей, рассчитанных по материалам современных спутниковых наблюдений, показал существенное увеличение распространения кустарниковых формаций (табл. 2). В. Н. Андреев (1935) для территории, к которой относится ключевой участок, отмечал наличие лишь редких зарослей низинных кустарников ив в низменности долины р. Ою. В настоящее время заросли ив наблюдаются на склонах хребта Пай-Хой на всем ключевом участке и прилегающей территории, для которой данные получены по аэровизуальным маршрутам.

Таблица 2

Соотношение площадей растительных сообществ (%)

Формации	№ класса	Подзоны			В целом по территории
		I	II	III	
		1935/2012	1935/2012	1935/2012	
<b>Тундровые</b>		27.2/54.5	42.2/48.6	45.1/41.3	45.4
лишайниковые	2	6.9/12.5	14.3/7.1	2.6/4.6	6.1
моховые	1	1.3/18.1	19.3/23.5	8.9/12.8	18.6
полигональные	–	18.7/–	1.0/–	–/–	–
редкостебельные	4	0.3/23.9	7.6/18.0	33.6/23.9	20.7
<b>Кустарниковые</b>		–/10.8	–/20.3	21.5/39.5	28.7
ерниковые	9	–/3.6	–/2.4	–/10.6	6.1
ивняковые	3	–/7.2	–/17.9	21.5/28.9	22.6
<b>Болотные</b>		66.3/18.4	51.6/17.0	31.3/11.2	16.7
плоскобугристых болот	–	0.9/–	3.3/–	7.5/–	–
низинных болот	8,6	65.4/3.8; 14.6	48.3/3.2; 13.8	23.5/3.4; 7.8	16.7
<b>Луговинные</b>	5	6.5/2.0	6.1/3.4	2.4/1.8	2.7

Примечание: Названия формаций и площадные данные 1935 г. приведены по В. Н. Андрееву (1935) числитель – данные В. Н. Андреева (1935), знаменатель – обработка спутниковых данных.

В настоящее время на цокольных равнинах юго-западной части Югорского п-ова, сложенных суглинистыми отложениями, наблюдается широкое распространение крупных массивов ерниковых сообществ, ранее отмечавшихся здесь только локально (рис. 1, табл. 2). Расширяют свое присутствие и продвигаются на север

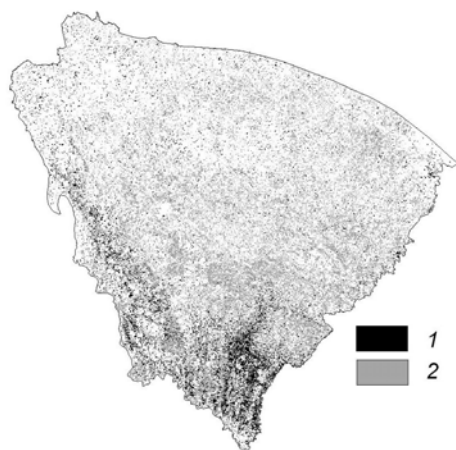


Рис. 1. Распределение класса ерниковых тундр (1) и ивняков разнотравно-моховых высокогорных (2) в пределах Югорского п-ва

ранее отсутствующие высокорослые разнотравно-моховые ивняки. Площадь тундровых сообществ увеличилась в подзоне I. Анализ структуры фитоценозов этих формаций показал, что нами не встречены полигональные тундры, ранее широко распространенные в I подзоне.

Для II и I подзон наблюдается увеличение площади кустарничковых тундр (от 2.3 до 79.7 раз, соответственно), в подзоне III отмечено снижение площадей редкокустарничковой формации (в 1.4 раза). Для всех подзон, но с разной интенсивностью, отмечен рост участия травяно-кустарничково-моховых формаций (14, 1.2 и 1.4 раза для I-III, соответственно).

Наблюдается сокращение площадей низинных болот, что, вероятно, обусловлено их замещением редкоивняковыми и травяно-кустарничково-моховыми тундрами, а также ивняковыми и ивняково-ерниковыми тундрами, которые продвигаются в северную часть Югорского п-ова.

#### Анализ межгодовых изменений индекса NDVI

Анализ межгодовых изменений индекса NDVI, выполненный как для отдельных доминирующих сообществ, так и для отдельных интервалов вегетационного периода, показал, что оценка количественных значений и трендов изменения индекса по данным эпизодических съемок Landsat затруднена. Во-первых, для изображений, полученных для разных лет, наблюдается существенное смещение сроков наступления фенологических событий из-за различий погодных условий. Так, значения максимальных величин индекса между годами 2000 и 2006 варьировали в пределах 20%, для значений, полученных на одну дату съемки, но для разных лет они составили от 23% (сравниваемая пара 15.7.2009 и 17.7.2000) до 47% (16.8.2009 и 17.8.2006) (рис. 2). Общеизвестна и сезонная динамика содержания пигментов в растениях криолитозоны (Петров и др., 2010), суммарный запас которых определяет оптические свойства фитоценозов. Поэтому выбор одних дат съемки для разных лет в большинстве случаев не позволяет дать корректной оценки таких изменений. Во-вторых, при сравнениях количественных характеристик фитоценозов по оптическим спутниковым данным, приуроченным к разным датам съемки, но имеющим сходные по фенологическим особенностям развития растений параметры, не исключена возможность регистрации изменений, обусловленных варьированием сезонного положения зенитного угла Солнца (Елсаков, Тетерюк, 2012). Для корректной оценки количественных изменений растительного покрова с привлечением спутниковых материалов необходим, прежде всего, корректный выбор сравниваемых сцен, с привлечением однородных по метеорологическим данным лет. Данные ограничения могут быть устранены в ближайшее время с вводом в эксплуатацию новых спутниковых систем наблюдения Sentinel-2, в рамках программы GMES (Global Monitoring for Environment and Security), обеспечивающих возможность частых повторных съемок в 2–3 дня.

Для выявления влияния основных метеорологических параметров (температура приземного слоя воздуха и количество осадков) на формирование значений

NDVI привлекали усредненные суточные данные м. ст. Хоседа-Хард и Воркута (источник <http://ib.komisc.ru/climat>). Между температурными измерениями метеостанций установлены тесные значимые коррелятивные связи ( $r^2 = 0.95$ ,  $p < 0.05$ ), что позволяет восстанавливать пробелы в рядах данных долговременных рядов с использованием поправочных коэффициентов.

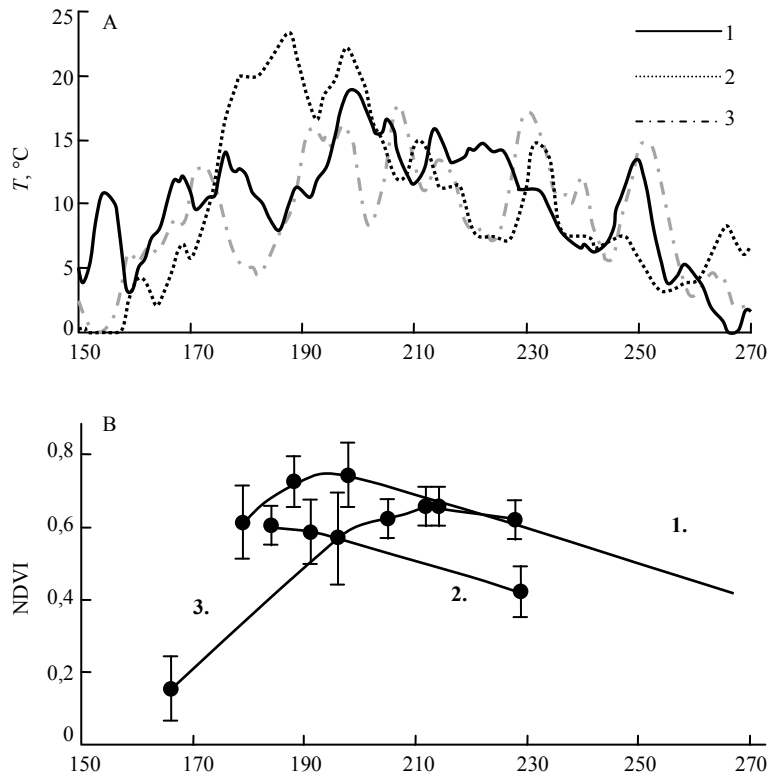


Рис. 2. Динамика усредненных за пять дней среднесуточных температур воздуха в районе исследований (по м/ст. Воркута) (А.). Изменения индекса NDVI в течение вегетационного периода для класса ивняков травяных по данным сенсоров разносезонных/разногодовых сцен Landsat TM5. Условные обозначения: 1 – 2000 г., 2 – 2006 г., 3 – 2009 г. (В)

Период максимального накопления надземной фитомассы для большинства тундровых сообществ смещен во времени относительно сезонных температурных максимумов и приходится на период конца июля-начала августа. К началу июля травянистые растения формируют в среднем 53.2% запаса фитомассы от максимума, отмеченного в начале августа, листопадные кустарники и кустарнички – 65.0% (Андреев и др., 1978). Анализ коррелятивных связей между метеорологическими данными и максимальными величинами значений съемки NDVI показал, что наиболее высокая значимая коррелятивная связь между параметрами наблюдается для значений средней температуры периода вегетации со второй половины июня по первую половину июля и величинами NDVI ( $r^2 = 0.49$ ,  $p < 0.05$ ) (рис. 3, Б и В).

Температурные особенности вегетационного периода находятся в зависимости от прихода солнечной радиации, максимальное поступление которой наблюдается в периоды с безоблачным состоянием погоды. Поэтому, между количеством выпадающих осадков и температурными показателями прослеживается обратная связь (рис. 3, А и Б): в годы с высокими величинами выпадающих осадков температурные характеристики имеют более низкие значения. Величины ин-

декса NDVI для фитоценозов района исследования, часто приуроченных к переувлажненным тундровым почвам, и значения количества выпавших осадков за обозначенный период имели слабые зависимости ( $r = 0.04$ ), однако, более тесные коррелятивные связи наблюдаются между параметрами индекса NDVI и количеством осадков, выпавших в зимний период ( $r = 0.39$ ).

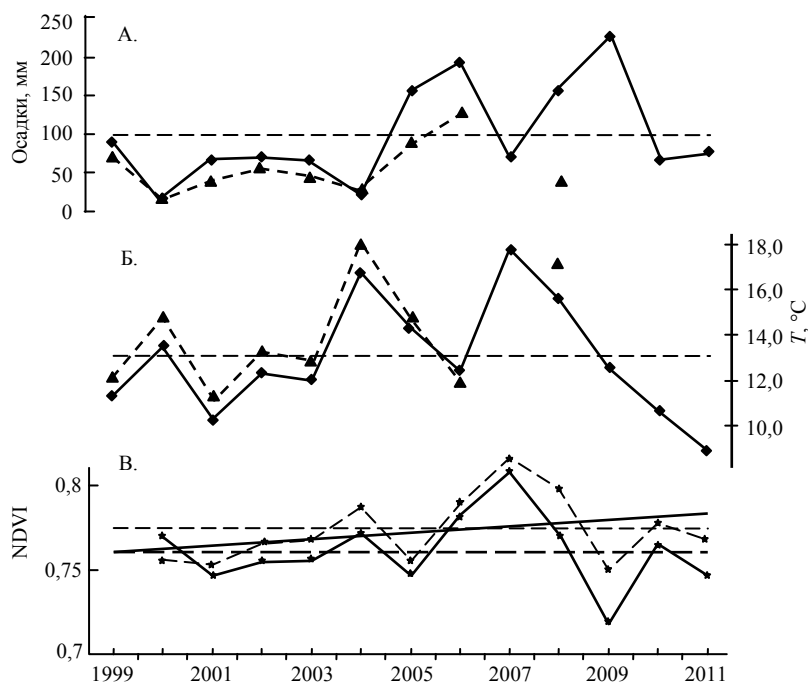


Рис. 3. Ход средних значений выпавших осадков (А) и температуры приземного слоя воздуха (Б) за июль для м/ст. Воркута и Хоседа-Хард. Межгодовые максимумы индекса NDVI для класса ивняков травяных северо-западного и юго-восточного участков района Югорского п-ва по данным съемки MODIS (В). Серые пунктирные линии показывают средние значения показателей по данным м. ст Воркута (А и Б), и доверительный интервал средних значений параметров NDVI ( $p < 0.05$ ,  $n = 5604$ ) для всего периода наблюдений и пример расчета тренда межгодовых изменений значений показателя NDVI для ю.-в. участка ( $y = 0,0018x + 0,76$ ,  $r^2 = 0,14$ )

Для выявления межгодовых изменений показателей NDVI были рассмотрены мозаики сцен Landsat одного периода вегетации разных лет: для 2000 и 2009 гг. (для территории п-ова мозаика 1 составлена сценами 30.7.2000 и 28.7.2000, мозаика 2 – 31.7.2009 и 29.7.2009). Средняя температура июля сравниваемых лет приближалась к средним показателям (2000 г.) или была ниже их (2009 г.) за весь период наблюдений, что позволяет охарактеризовать эти годы как «холодные». Для 2009 г. было характерно и большее количество выпавших осадков. Анализ изменений величин индекса NDVI между данными годами показал, что отсутствие существенных различий в температуре июля между 2000 и 2009 гг. стало причиной низкой вариативности классов: слабые и относительно слабые изменения (лежащие в пределах варьирования значений от 4 до – 4 %) отмечены на 40.6% территории (цв. вкладка, рис. А). Рост индекса наблюдается только в южной и восточной части Югорского п-ова. Увеличение показателя отмечено для площади, покрытой на 29% растительными сообществами. На большей части территории отмечено его снижение (71%) (табл. 3).

Если суммировать количество отрицательных и положительных изменений для выделенных классов по Landsat, то по отношению показателей может быть построен ряд (в порядке убывания): луговины (10 раз) → ивняки разнотравно-

моховые (4.2 раза) → мезотрофные болота и травяно-кустарничково-моховые сообщества (3.7-3.8 раз). В меньшей степени различия прослеживались для травяно-кустарничково-мохово-лишайниковых (1.4) и ерниковых тундр (0.8 раз).

Таблица 3

Изменение значений показателя NDVI (%) на территории Югорского п-ва для растительного покрова между 2000 и 2009 гг.

Классы по Landsat	Интервалы изменения значений показателя, %										Итого:
	<-8	от -6 до -8	от -4 до -6	от -2 до -4	от 0 до -2	от 0 до 2	от 2 до 4	от 4 до 6	от 6 до 8	>8	
<b>1</b>	5.5	2.5	2.8	2.7	2.2	1.7	1.1	0.7	0.4	0.3	<b>19.8</b>
<b>2</b>	0.9	0.5	0.7	0.9	0.9	0.9	0.7	0.5	0.3	0.4	<b>6.4</b>
<b>3</b>	10.0	2.4	2.6	2.5	2.2	1.8	1.3	0.8	0.4	0.4	<b>24.4</b>
<b>4</b>	4.5	2.1	2.6	2.8	2.8	2.7	2.1	1.4	<b>0.8</b>	<b>0.7</b>	<b>22.5</b>
<b>5</b>	1.9	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.03	0.02	0.02	<b>2.9</b>
<b>6</b>	1.3	1.0	1.4	1.7	1.7	1.6	1.2	0.7	0.5	0.6	<b>11.7</b>
<b>7</b>	0.8	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.01	0.1	<b>2.3</b>
<b>8</b>	1.5	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	<b>3.3</b>
<b>9</b>	0.9	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	0.9	0.7	0.6	<b>0.7</b>	<b>6.6</b>
<b>Итого:</b>	<b>27.2</b>	<b>9.6</b>	<b>11.2</b>	<b>12.0</b>	<b>11.1</b>	<b>10.0</b>	<b>7.5</b>	<b>5.1</b>	<b>3.0</b>	<b>3.4</b>	<b>100.0</b>

Выявить изменения для интервалов других лет возможно, привлекая съемки более низкого пространственного разрешения (ПР) MODIS. Сравнительный анализ распределения величин NDVI на сценах сенсоров Landsat и MODIS, доведенных до одного ПР (30 и 250 м) показал, что по всей сцене усредненные величины NDVI пространственно визуально сопоставимы (цв. вкладка 2, рис. А и Б), однако статистические оценки представленности площадей выделенных классов существенно расходятся. Как в случае доведения пикселей Landsat до 250 м, так и при «дроблении» пикселей MODIS сходимость полученных классов характеризовалась низким уровнем: общая сходимость составила 17.5 (доведение ПР до 250 м) и 18.5% (до 30 м), каппа 5.75 и 4.82%, соответственно (табл. 4). На сцене MODIS нивелируются крайние элементы значений показателей в силу пространственной генерализации, что затрудняет выполнение сравнительного анализа количественных характеристик сообществ, имеющих незначительные площади.

Таблица 4

Оценка сходимости материалов сравнения, полученных путем снижения пространственного разрешения Landsat и съемкой MODIS

Классы по MODIS	Классы, выделенные по Landsat (км <sup>2</sup> )*							итого:	Сходимость, %
	<-10	от -10 до -6	от -6 до -2	от -2 до 2	от 2 до 6	от 6 до 10	>10		
<-10	<b>1 138.6</b>	1 935.7	2 539.6	1 937.4	507.9	153.7	136.3	8 349	13.6
от -10 до -6	154.4	<b>307.7</b>	654.8	778.8	215.1	43.0	25.8	2 180	14.1
от -6 до -2	124.5	224.1	<b>516.8</b>	885.8	318.7	55.3	29.0	2 154	24.0
от -2 до 2	105.3	166.3	410.6	<b>988.3</b>	477.1	90.9	35.6	2 274	43.5
от 2 до 6	54.9	81.4	183.3	559.5	<b>370.9</b>	86.3	28.3	1 365	27.2
от 6 до 10	30.9	44.1	100.5	346.2	289.6	<b>81.1</b>	20.9	913	8.9
>10	95.4	107.3	215.2	557.7	504.9	219.1	<b>129.1</b>	1 829	7.1
итого, км <sup>2</sup> :	1 704	2 867	4 621	6 054	2 684	729	405	19 063	
сходимость, %	66.8	10.7	11.2	16.3	13.8	11.1	31.9		

\* – размерность градации классов соответствует представленной в табл. 2.

Сравнительный анализ изменения индекса NDVI для пар снимков условно «холодных» (2000 и 2009 гг.) и «теплых» (2001 и 2007 гг.) сравниваемых лет наблюдений, выполненный по материалам съемки MODIS, показал отчетливые различия в проявлении, локализации и интенсивности изменений параметра (цв. вкладка 2, рис. Б и В). Наибольшие различия запасов надземной массы в «холод-

ные» и «теплые» годы отмечены для горно-складчатых поднятий Пай-Хоя. На изображениях разных лет рост величин индекса сохраняется на изображениях разных лет на цокольных равнинах юго-западной части п-ова, однако проявляется с различной интенсивностью.

Большинство рассмотренных типов фитоценозов демонстрирует наличие отчетливых трендов изменений продуктивности в зависимости от климатических особенностей сравниваемых лет (рис. 4). Существенные различия в изменении показателей индекса NDVI между «теплыми» и «холодными» годами по данным съемок MODIS отмечены для тундровых сообществ. Так, в годы с низкими температурами вегетационного периода травяно-кустарничково-лишайниково-моховые тундры и ивняки разнотравно-моховые демонстрируют резкое смещение основной доли количества однородных по составу пикселей из области отрицательных изменений (в годы с низкими температурами вегетационного периода) в область положительных изменений в «теплые» годы.

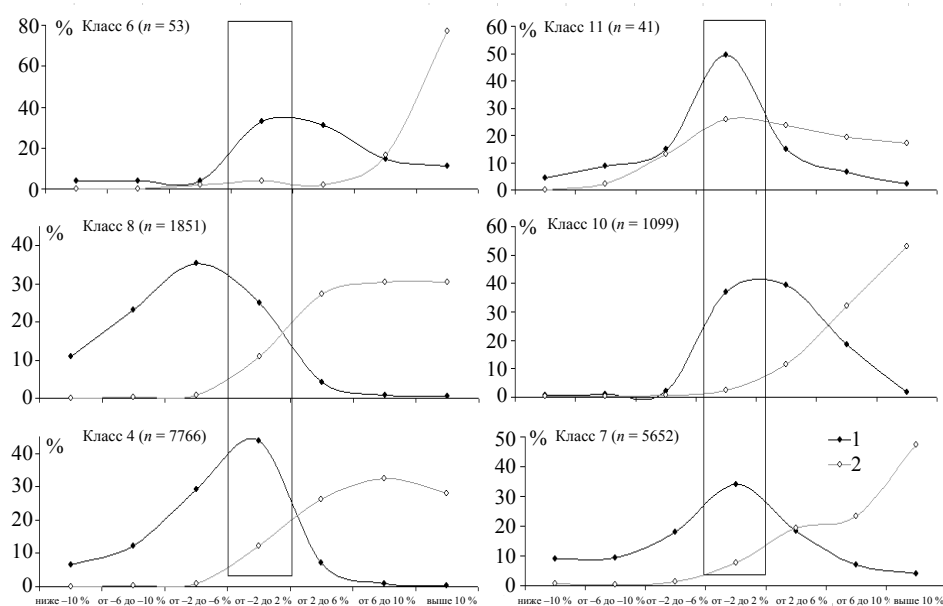


Рис. 4. Межгодовые изменения классов NDVI для пикселей, однородных по классам растительного покрова по съемке MODIS для «теплых» 2001–2007 гг. (1) и «холодных» 2000–2009 гг. (2) сравниваемых лет. Прямоугольником обведена область «незначительных» изменений (от –2 до 2 %).

Слабое смещение в область положительных изменений, отмеченное даже в годы с низкими температурами, демонстрируют ерниковые тундры и мезотрофные болота, однако, в годы с более высокими температурами рост величин индекса наиболее выражен. В меньшей степени различия между периодами холодных/теплых лет прослеживаются для сообществ с доминированием в покрове мхов и лишайников (травяно-кустарничково-мохово-лишайниковых тундр), для которых наибольшее количество однородных по составу пикселей относилось к классу незначительных изменений для сравниваемых контрастных по погодным условиям лет.

В одинаковые по температурным особенностям года наблюдали отсутствие четко выраженной сходимости пространственной локализации участков с повышением или снижением показателя индекса, что может быть обусловлено, с одной стороны, постепенным накоплением межгодовых изменений (в начале вегетационного периода каждого года фитоценозы не тождественны по своим характери-

стикам предыдущим годам). С другой стороны, не исключено влияние облачного покрова, не устранившее использование отмеченного ранее алгоритма обработки данных. Общий тренд изменений фитоценозов за период последнего десятилетия связан с увеличением значений индекса, прослеживающийся с различной интенсивностью на всей территории Югорского п-ова (цв. вкладка 2, рис. Г).

### Заключение

За период последних тридцати с небольшим лет (1973–2005 гг.) экосистемы криолитозоны Европейского Северо-Востока России демонстрируют наличие отчетливых трендов деградации многолетнемерзлых пород территории, связанных с ростом среднегодовых температур воздуха, годовых атмосферных осадков, мощности снежного покрова (Оберман, Шеслер, 2009). Присутствие отчетливых признаков современной деградации многолетнемерзлых пород проявляется в смещении границ их распространения в регионе цокольных равнин Приуралья и низкогорного Пай-Хоя на десятки километров за период 1970–2005 гг., в возникновении многочисленных снежниковых несквозных таликов на междуречьях и повышении температуры мерзлых грунтов (Оберман, 2007; Оберман, Шеслер, 2009; Oberman, 2008). Развитие растительного покрова территории во многом определяется погодными и мерзлотными условиями почв и грунтов, в том числе и особенностями варьирования сезонно-талого слоя или величиной критической глубины сезонно-талого слоя (Шур, 1977), снижающейся с продвижением на север. В этой связи растительный покров может рассматриваться как индикатор происходящих в криолитозоне изменений, замаскированных влиянием погодных условий разных лет. Совпадение «благоприятных» для развития биомассы растений условий в летний и зимний периоды или нескольких следующих друг за другом лет способно оказать существенное влияние на глубину протаивания сезонно-талого слоя. В частности, такие увеличения за рассматриваемый период пришлись на 2006–2008 гг., для которых наблюдалось превышение температурных показателей над средними величинами (рис. 2).

Одной из возможных причин, влияющих на изменение мерзлотных условий региона, является рост снегонакопления в течение последних лет и неравномерное перераспределение снежного покрова на территории (Oberman, 2008), влекущее формирование более высоких температур верхней толщи мерзлых пород (рост толщины СТС) на участках с более мощной толщиной снега. Отопляющее влияние толщины снежного покрова достаточно подробно рассмотрено в литературе (Шаманова, 1970; Шульгина, 1957; по Кононенко, 1986). Отмечено (Тыртиков, 1969), что увеличение толщины снежного покрова до 1 м в условиях отсутствия растительного покрова приводит к деградации многолетнемерзлых пород. Средняя толщина снежного покрова в зимний период на большей части Пай-Хоя, составленная по результатам разрозненных метеорологических наблюдений, оценена в 50–60 см, к участкам побережий она снижается до 40–50 см, достигая минимума на побережье Карского моря (до 30–40 см) (Атлас..., 1976). Более точно особенности перераспределения снега на территории установлены с привлечением современных возможностей спутниковой радиолокационной дифференциальной интерферометрии, широко используемой для анализа вертикальных подвижек земной поверхности, вызванной как антропогенными (Евтюшкин, Филатов, 2009; Филатов, 2006) так и криогенными (Чимитдоржиев и др., 2010) влияниями.

Для региона Югорского п-ова наибольшая толщина снежного покрова, рассчитанная методами радиолокационной дифференциальной интерферометрии по материалам анализа пары ранне-весеннего (6.3.2007) и летнего (22.7.2007) изображений ALOS Palsar, наблюдается на западном побережье и на предгорных

участках цокольных равнин (в среднем 60–70 см). Участки, расположенные в пределах Коротаихинской впадины, демонстрируют максимальные значения (выше 70 см) толщины снежного покрова (цв. вкладка рис. Е). Для участков низкогорий и цокольных равнин горно-складчатых сооружений Пай-Хоя толщина снежного покрова составила 30–40 см и ниже. Участки максимального накопления снега даже в период «холодных» лет наблюдений (цв. вкладка 2, рис. А и Б) характеризуются ростом показателей NDVI. Для них характерно и интенсивное развитие ерниковых тундр (рис. 1), которые характеризуются и более низкой вариабельностью значений индекса между «холодными» и «теплыми» годами наблюдений (рис. 4). Ерниковые тундры демонстрируют преимущественно положительный прирост величин индекса даже в «холодные» годы (табл. 2). Травяно-кустарничково-лишайниково-моховые и травяно-кустарничково-мохово-лишайниковые тундры сохраняют свои площадные позиции и значения показателя NDVI на более стабильном уровне, так как находятся в условиях минимального снегонакопления, и имеют меньшую амплитуду изменений температурного режима почв.

Полученные результаты демонстрируют наличие положительных суммарных трендов изменения надземной биомассы (оцененной по индексу NDVI) растительного покрова исследуемого региона за период 2000–2011 гг., которые перекрывают возникающие снижения в «холодные» периоды. Данные по увеличению продуктивности фитоценозов в ряде случаев маркируют участки, испытывающие существенные перестройки в связи с изменением криогенных условий, что делает необходимым их дополнительное исследование на предмет безопасной эксплуатации инженерных и транспортных сооружений. Рост продуктивности фитоценозов демонстрирует и необходимость пересмотра существующих проектов пастбищного устройства для отдельных оленеводческих хозяйств, расположенных в данных районах.

*Работа выполнена в рамках программы научных исследований УрО РАН «Реакция экосистем криолитозоны Европейского Севера и Западной Сибири на климатические флуктуации последних десятилетий» (12-С-4-1018); проекта фундаментальных исследований «Арктика» «Комплексная оценка природных экосистем восточно-европейского сектора Арктики для выделения территорий высокой природоохранной ценности» (12-4-7-006-АРКТИКА). Материалы съемки ALOS/Palsar получены для выполнения научного проекта «Изменения растительного покрова Европейского северо-востока России в экологических градиентах по данным радарной и оптической съемки» Японского космического агентства (JAXA) в рамках III-ей исследовательской программы ALOS (PI 546).*

#### ЛИТЕРАТУРА

- Александрова В. Д.* Геоботаническое районирование Арктики и Антарктики, Л., 1977. 189 с.
- Александрова В. Д., Грибова С. А., Исаченко Т. А., Непомилуева Н. И., Овеснов С. А., Паянская-Гвоздева И. И., Юрковская Т. К.* Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР. Л.: Наука, 1989. 64 с.
- Андреев В. Н.* Растительность и природные районы восточной части Большеземельской тундры // Тр. Полярной комиссии.– М.; Л., 1935. Вып. 22. 97 с.
- Андреев В. Н.* Растительный покров восточноевропейской тундры и мероприятия по его использованию и преобразованию: Автореф. дисс...д-ра биол. наук. Л., 1954. 39 с.
- Андреев В. Н., Галактионова Т. Ф., Говоров П. М., Захарова В. И., Неустроева А. И., Савинов Д. Д., Торговкина Е. Е.* Сезонная и погодная динамика фитомассы в субарктической тундре. Новосибирск, 1978. 191 с.
- Анисимов О. А., Белолуцкая М. А.* Современное потепление как аналог климата будущего // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2003. Т. 39. № 2. С. 211–221.
- Атлас Архангельской области.* М., 1976. 72 с.

- Биткаева Л. Х., Николаев В. А.* Потенциал остепнения Терских песков // Степи Северной Евразии: материалы Международного симпозиума "Стратегия сохранения природного разнообразия и степного природопользования в XXI веке". Оренбург, 2000. С. 67–68.
- Виноградов Б. В., Кулик К. Н., Сорокин А. Д., Федотов П. Б.* Изодинамическое картографирование и долговременный мониторинг опустынивания и деградации земель с применением нелинейных методов моделирования // Почвоведение, 1999. № 4. С. 494–504.
- Городков Б. Н.* Растительность тундровой зоны СССР. М.; Л., 1935. 142 с.
- Грибова С. А.* Широтная дифференциация растительного покрова тундр Европейской равнины. // Проблемы экологии, геоботаники, ботанической географии и флористики. Л., 1977. С. 37–46.
- Грибова С. А.* Тундры // Растительность европейской части СССР. Л., 1980. С. 29–70.
- Дорогостайская Е. В.* Опыт характеристики рудеральной и сорной растительности г. Воркуты и его окрестностей. // Ботан. журн. 1963. Т. 48. № 7. С. 1015–1021.
- Дорогостайская Е. В.* Сорные растения Крайнего Севера СССР. Л., 1972. 172 с.
- Дружинина О. А., Мяло Е. Г.* Охрана растительного покрова крайнего севера: проблемы и перспективы. М., 1990. 176 с.
- Евтюшкин А. В., Филатов А. В.* Оценка деформаций земной поверхности в районах интенсивной нефтедобычи Западной Сибири методом PCA интерферометрии по данным ENVISAT\ASAR и ALOS\PALSAR // Сб. науч. статей: Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. М., 2009. Том II. Вып. 6. С. 46–53.
- Елсаков В. В., Кулюгина Е. Е.* Тренды изменений растительного покрова Югорского полуострова последних десятилетий – сопоставление результатов дистанционных и полевых исследований // Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы. Мат-лы Всерос. Науч. конф. с международным участием (20–24 сентября, 2011 г.). СПб, 2011. Т. 1. С. 354–355.
- Елсаков В. В., Марущак И. О.* Межгодовые изменения термокарстовых озер северо-востока европейской России // Исследования Земли из космоса. 2011. № 3. С. 78–93.
- Елсаков В. В., Тетерюк Л. В.* Спутниковые изображения в изучении влияния рельефа на формирование флористического своеобразия фитоценозов карстовых ландшафтов европейского северо-востока России // Исследования Земли из космоса. 2012. № 3. С. 78–93.
- Елсаков В. В., Щанов В. М.* Особенности спектральных характеристик приморских лугов восточного побережья Малоземельской тундры // Биоразнообразие наземных и водных экосистем охраняемых территорий Малоземельской тундры и прилегающих регионов. Сыктывкар, 2005. Тр. Коми НЦ УрО РАН № 178. С. 5–20.
- Зоны и типы пояности растительности России и сопредельных территорий.* М. 1 : 8 000 000) / Отв. ред. Г. Н. Огуреева. Карта на 2 листах. 1999.
- Керцели С. В.* По Большеземельской тундре с кочевниками. Архангельск, 1911. 116 с.
- Конonenко А. В.* Гидротермический режим таежных и тундровых почв Европейского Северо-Востока. Л., 1986. 144 с.
- Лавриненко И. А.* Картирование растительности оленьих пастбищ Югорского полуострова с использованием дистанционных методов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Сб. науч. статей. М., 2010. Т. I. Вып. 7. С. 246–253.
- Матвеева Н. В.* Зональность в растительном покрове Арктики. СПб., 1998. 220 с.
- Мельников В. П., Павлов А. В., Малкова Г. В.* Геокриологические последствия современных изменений глобального климата // География и природные ресурсы. 2007. № 3. С. 19–27.
- Ненецкий автономный округ.* Энциклопедический словарь. М.: «Дом книга "Аванта+"», 2001. 304 с.
- Новикова Н. М., Волкова Н. А., Хитров Н. Б.* Растительность солонцового комплекса заповедного степного участка в Северном Прикаспии // Аридные экосистемы. 2004. Т. 10. № 22–23. С. 9–17.
- Оберман Н. Г.* Глобальное потепление и изменение криолитозоны Печоро-Уральского региона // Разведка и охрана недр. 2007. № 4. С. 63–68.
- Оберман Н. Г., Шеслер И. Г.* Современный прогноз изменений мерзлотных условий европейского северо-востока РФ // Проблемы Севера и Арктики РФ. Научн.-инф. бюлл. М., 2009. Вып. 9. С. 96–106.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Последствия изменения климата. М., 2008. Т. 2. 288 с.

Павлов А. В. Мерзлотно-климатические изменения на севере России: наблюдения и прогноз // Изв. РАН. 2003. Сер. Географическая. № 6. С. 39–50.

Павлов А. В. Тренды современных изменений температуры почвы на севере России // Криосфера Земли. 2008. Т. XII. № 3. С. 22–27.

Петров К. А., Софронова В. А., Чепалов В. А., Перк А. А., Максимов Т. Х. Сезонные изменения содержания фотосинтетических пигментов у многолетних травянистых растений криолитозоны // Физиология растений. 2010. Т. 57. № 2. С. 192–199.

Ребристая О. В. Флора востока Большеземельской тундры. Л., 1977. 334 с.

Руофф З. Ф. Типы тундры в районе Воркуты и их связь с многолетнемерзлыми породами // Тр. сев. отд. Ин-та мерзлотоведения им. В. А. Обручева АН СССР. Сыктывкар, 1960. Вып. 1. С. 147–168.

Тыртиков А. П. Влияние растительного покрова на промерзание и протаивание грунтов. М., 1969. 192 с.

Филатов А. В. Обнаружение подвижек земной поверхности в зоне интенсивной нефтедобычи методами радарной интерферометрии // Вестник Югорского гос. ун-та. 2006. № 4. С. 103–109.

Хантимер И. С. Сельскохозяйственное освоение тундры. Л., 1974. 221 с.

Чимитдоржиев Т. Н., Халтанов В. Б., Захаров А. И., Татков Г. И., Будаев Р. Ц., Дмитриев А. В., Цыбенков Ю. Б. Использование данных радиолокационной интерферометрии ALOS Palsar и георадарного зондирования для исследования криогенных деформаций грунтов // Журн. радиоэлектроники. 2010. № 10. [http://jre.cplire.ru/jre/library/Ulan-Ude-2010/pdf/c1\\_16.pdf](http://jre.cplire.ru/jre/library/Ulan-Ude-2010/pdf/c1_16.pdf).

Шаманова И. И. Влияние снега, растительного покрова и распашки на тепловое состояние грунтов в районе Воркуты // Биологические основы использования природы Севера. Сыктывкар, 1970. С. 186–194.

Шур Ю. Л. Термокарст (к теплофизическим основам учения о закономерностях развития процесса). М., 1977. 80 с.

Epstein, H. E., M. P. Calef, M. D. Walker, F. S. Chapin III, and Starfield A. M. 2004. Detecting changes in arctic plant communities in response to warming over decadal time scales // *Global Change Biology* 10. P. 1325–1334.

Epstein, H. E., Walker, D. A., Reynolds, M. K., Kelley, A. M., Jia, G. J., Ping, C. L., Michaelson, G. J. 2009. Vegetation biomass, leaf area index, and NDVI patterns and relationships along two latitudinal transects in arctic tundra. Abstract GC31A-0697, presented at AGU Fall Meeting, San Francisco, CA, 90:GC31A-0697.

Karlsen S. R., Høgda K. A., Wielgolaski F. E., Tolvanen A., Tømmervik H., Poikolainen J., Kubin E. Growing-season trends in Fennoscandia 1982–2006, determined from satellite and phenology data. *Climate Research*, 2009. № 39. P. 275–286.

Oberman N. G. Contemporary Permafrost Degradation of Northern European Russia // In *Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost*, June 29–July 3. Fairbanks, Alaska, 2008. Vol. 2. P. 1305–1310.

Raynolds M. K., Walker D. A., Maier H. A., 2006. NDVI patterns and phytomass distribution in the circumpolar Arctic // *Remote Sensing of Environment* 102 (2006). P. 271–281.

Scott G., Bunn A. G., Fiske G. J., Houghton R. A. Satellite-observed photosynthetic trends across boreal North America associated with climate and fire disturbance // *PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America)*. 2005. V. 102. №38. P. 13521–13525.

Sturm M., Racine C., Tape K. Increasing shrub abundance in the Arctic. *Nature*. doi: 411: 2001. P. 546–547.

Tape K., Sturm M., Racine C. The evidence for shrub expansion in Northern Alaska and the Pan-Arctic. *Global Change Biology*, 2006. № 1. P. 686–702.

Tieszen L. L., Johnson P. L. Pigment Structure of Some Arctic Tundra Communities // *Ecology*, 1968. V. 49. № 2. P. 370–373.

Walker D. A., Epstein H.E., Jia J. G., Balsler A. W., Copass C., Edwards E. J., Gould W. A. Phytomass, LAI, and NDVI in northern Alaska: Relationships to summer warmth, soil pH, plant functional types, and extrapolation to the circumpolar Arctic. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres*. 2003. 108: (d2):8169.

## SUMMARY

*V. V. ELSAKOV, E. E. KULIUGINA, V. M. TSHANOV*

### **TRENDS OF VEGETATION COVER CHANGES OF THE YUGORSKY PENINSULA IN THE LAST DECADES: COMPARISON OF REMOTE AND FIELD STUDIES**

The remote sensing satellite data was used for vegetation mapping and analysis of vegetation climatic changes of Jygorskii peninsula. The compeering analysis of archive data (Andreev, 1935) and modern observation demonstrated the main trends of changes. The vegetation changes were related with increased proliferation of *Betula nana* communities at the southern part of the territory and the promotion to the northern parts of the peninsula the community from *Salix* sp. The variation of spectral index NDVI for different communities depends upon weather/climate fluctuation in vegetation season of different years. The common changes trend at region related with biomass production increasing and correlated with parameters of warming and precipitation increasing especially in winter time.