

Спутниковые методы в анализе изменений экосистем бассейна р. Вычегда

В.В. Елсаков, В.М. Щанов

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, 167610, Россия
E-mail: elsakov@ib.komisc.ru*

В работе представлены результаты анализа изменений природно-территориальных комплексов бассейна р. Вычегда (121,4 тыс. км²) для временного периода 1984–2015 гг., полученные с использованием материалов спутниковых съемок Landsat (эпизодические) и временных серий MODIS. На основании подготовленных для 1984–1990 гг. и 2010–2015 гг. мозаик Landsat показаны тренды изменений в структуре земельного фонда территории в отмеченных временных срезах. Сельскохозяйственная освоенность, лесопромышленное использование и высокая заболоченность территории определяют свойства и основные изменения компонентов экосистем. Температурные каналы Landsat ранневесенних изображений демонстрируют хорошие возможности для мониторинга теплового загрязнения вод. Для 127 выделенных участков бассейнов рек первого порядка площадью от 10,8 км² (басс. р. Черная) до 25,6 тыс. км² (басс. р. Вымь) выявлены временные изменения в составе классов земной поверхности, рассчитаны индексы заболоченности (наибольшие показатели: басс. водотоков р. Парчь (22,9%) и р. Торновка (20,7%)), антропогенной трансформации (наибольшие изменения: басс. р. Лименда (до 75%) и р. Човью (72,8%) при средних показателях для всего бассейна 40,7%). Малонарушенные лесные территории сохранились преимущественно в восточной части Вычегодского бассейна на территории 37,4%. Анализ трендов межгодовых изменений индекса NDVI на временных сериях MODIS периода 2000–2011 гг. демонстрирует наличие площадей с разнонаправленными трендами деградации/восстановления растительного покрова. Наиболее стабильные значения характерны для коренных темнохвойных фитоценозов.

Ключевые слова: тренды изменений экосистем, бассейн р. Вычегда, спутниковые методы исследований, анализ временных композитов

*Одобрена к печати: 20.06.2016
DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-135-145*

Введение

Развитие систем и технологий глобального и регионального спутникового мониторинга земной поверхности существенно расширили возможности анализа количественных и качественных характеристик природных экосистем и трендов их межгодовых изменений на основании изучения спектральных показателей объектов-индикаторов. Среди большого разнообразия «геоиндикаторных» или «ландшафтных» признаков изменений экосистем, выявляемых по материалам спутниковых съемок, выделены прежде всего комплексные показатели, характеризующие состояние растительного покрова и гидрографических объектов. На основании анализа их изменений спутниковые съемки стали активно использоваться для статического и динамического картографирования, в том числе в границах бассейнов крупных рек (Мищенко и др., 2009; Мищенко, 2011; Трифонова и др., 2009) и их устьев (Кравцова, Митькиных, 2013). Выявление устойчивых изменений характеристик отдельных компонентов-индикаторов рассматривается как проявление начальных этапов масштабных биогеоценотических трансформаций. Использование визуально наблюдаемых показателей в комплексе с точечными инструментальными измерениями позволило расширить возможности дистанционных методов и в решении целого ряда гидрологических задач, сопряженных с оценкой влияния заболоченности, озерности и залесенности водосборных территорий на величину речного стока (Терехов и др., 2015). Так, на примере

бассейнов рек таежной зоны Западной Сибири с привлечением данных спутниковых съемок показано, что влияние показателя лесистости и заболоченности на величину водного стока различным образом проявляется для рек с площадью водосбора до и свыше 5 тыс. км² (Савичев и др., 2011). Основными изменениями территории, способными влиять на гидрологические и гидрохимические свойства рек, являются: изменение облесенности территории (сплошные рубки и их демутационное восстановление, приводящие к смене породного состава и изменению десукции, развитию эрозионного сноса грунтов), естественная заболачиваемость территории вследствие недостатка тепла и избыточного увлажнения, разработка и зарастание с/х земель, катастрофические процессы (пожары, ветровалы).

Цель настоящей работы состояла в выявлении и анализе интенсивности и направленности изменений экосистем малых рек бассейна р. Вычегда по материалам спутниковых съемок различного разрешения, оценке их площадных характеристик, выделении основных факторов трансформации и привлечении полученных данных для комплексного районирования территории.

Материалы и методы

Водосборная территория басс. р. Вычегда включает площадь порядка 121 тыс. км² (Ресурсы..., 1965), расположенную в пределах административных границ Республики Коми (84,0%), Архангельской (15,3%) и Кировской (0,7%) областей в подзонах северной (9,6%), средней (89,1%) и южной (1,3%) тайги (рис. 1).

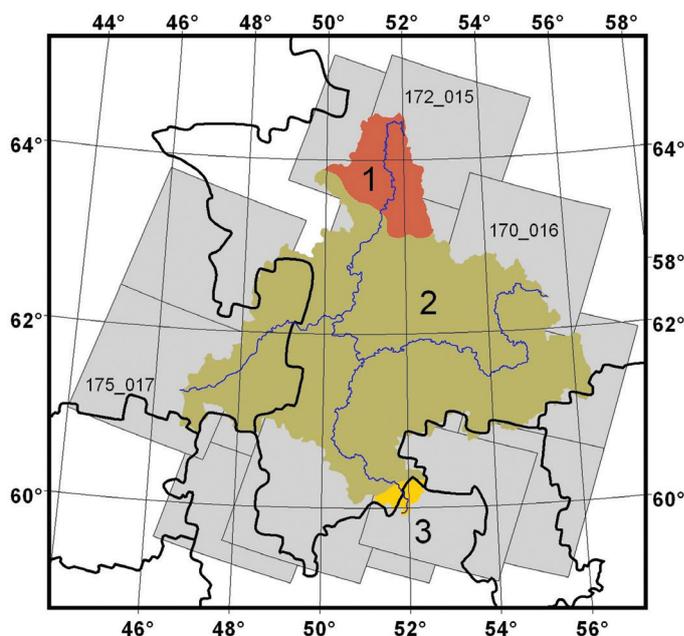


Рис. 1. Расположение басс. р. Вычегда. Показаны основное русло и главные притоки – р. Сысола и р. Вымь, административные границы областей России, выделяемые геоботанические зоны: 1 – северной, 2 – средней, 3 – южной тайги; покрытие сценами Landsat, привлеченными для построения мозаики

Бассейн р. Вычегда был сегментирован по границам водосборных площадей притоков первого порядка с привлечением топографических материалов и цифровой модели рельефа (SRTM-90). Из 127 выделенных водосборных территорий 15 наиболее крупных занимают площадь 80,5%. Среди них (по убыванию площади): бассейны р. Вымь (25,6 тыс. км²), р. Сысола (17,2 тыс. км²), р. Вишера (8,7 тыс. км²), р. Сев. Кельтма (8,0 тыс. км²), р. Локчим (6,6 тыс. км²), р. Виледь (5,7 тыс. км²). Наиболее мелкие выделенные притоки, имеющие площадь менее 20 км²: бассейны р. Пансимъель (19 км²), р. Глубокая (14,3 км²), р. Черная (10,8 км²). Для территории бассейна подготовлены две мозаики спутниковых изображений высокого разрешения с использованием предварительно радиометрически и атмосферно скорректированных сцен для периодов 1988–1990 гг. (Landsat TM 4, 5) и 2010–2015 гг. (Landsat TM 5, OLI 8) (рис. 2). В среднем, одна мозаика включала 14 сцен. Источник атмосферно скорректированных данных <http://espa.cr.usgs.gov>. По построенным мозаикам Landsat выполнены независимые управляемые классификации с выделением доминирующих классов земной поверхности/растительного покрова (всего 22 класса). Построение сигнатур выполняли по стабильным по характеристикам участкам (эталонам). Полученные материалы позволили выполнить кластеризацию выделенных бассейнов по признаку соотношения площадей классов наземного покрова для разных временных срезов и провести анализ зафиксированных на территории изменений.

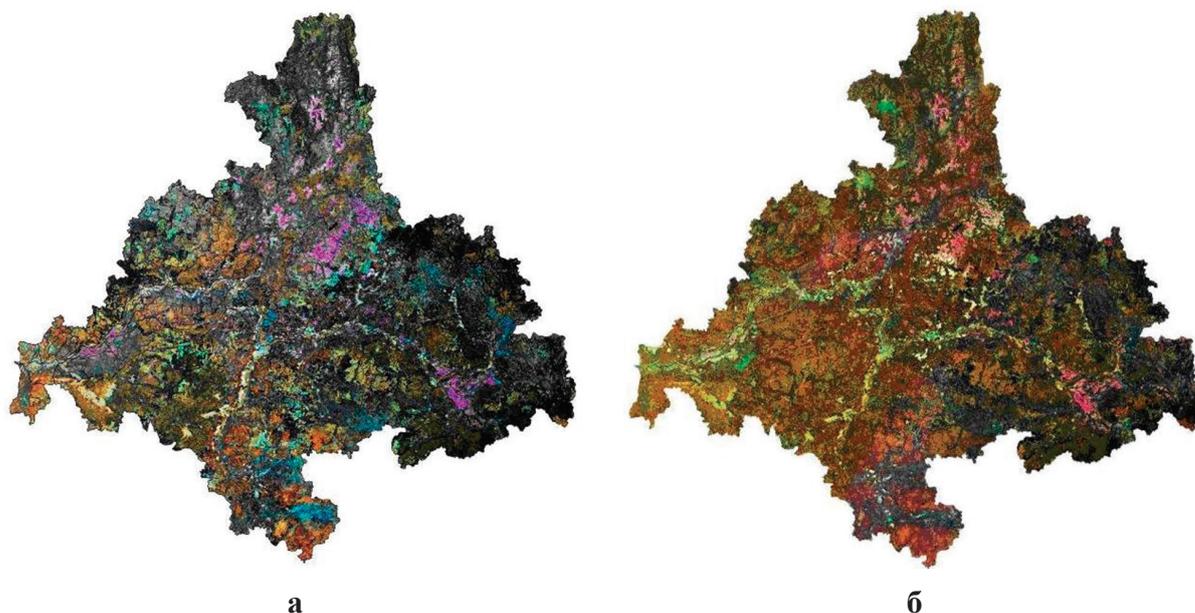


Рис. 2. Мозаика подготовленных изображений Landsat (составлена из 14 сцен) периода 1985–1994 гг. (а) и 2009–2014 гг. (б)

Для выявления наличия температурного загрязнения основного русла стоками крупных промышленных объектов и его протяженности использовали каналы ранневесенних изображений Landsat диапазона 10,4–12,5 мкм.

Вследствие отсутствия достаточного для статистически корректного анализа объема разносезонных съемок Landsat, их асинхронной годовой повторяемости, выполнение межгодовых и сезонных оценок изменений количественных показателей фитоценозов

(индекс NDVI) проводили 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).

Временные композиты изображений NDVI сенсоров MODIS были составлены из максимальных значений, полученных для каждого года наблюдений ($NDVI_{MAX}$). Это позволило получить параметры, характеризующие наиболее полное развитие наземной фитомассы для вегетационного периода отдельных лет, снизить ошибку, связанную со значительной долготной и широтной протяженностью территории, приводящей к возможным различиям в сроках наступления фенологических фаз. Для каждого пиксела изображения рассчитывали среднее значение $NDVI_{MAX}$ за весь период наблюдений (X), стандартное отклонение показателя (SD) и коэффициент вариации ($C_v, \%$). В качестве меры интенсивности и направленности изменений показателя за указанный интервал времени использовали коэффициент линейного тренда индекса $NDVI_{MAX}$ за 12-летний период (β), определенный по методу наименьших квадратов и характеризующий среднюю скорость изменений переменной (интенсивность изменения $NDVI/год$). Показатель β был дифференцирован в соответствии с Goetz et al. (2005) в градациях значений: высокие отрицательные изменения ($\beta \leq -0,006$), низкие отрицательные ($-0,006 < \beta \leq -0,003$), незначительные ($-0,003 < \beta \leq 0,003$), слабые положительные ($0,003 < \beta \leq 0,006$) и высокие положительные ($0,006 < \beta$) изменения.

Для анализа меры оценки существенности тренда изменений приводятся показатели 5%-ного уровня значимости с привлечением критерия Фишера ($n=10$; $F_{кр}(5\%) = 5,32$) или указывается критический уровень значимости (наименьший уровень значимости, при котором отвергается гипотеза об отсутствии тренда). Для водосборов притоков первого порядка территории Вычегодского бассейна проведен расчет относительных площадей распределения показателя β , что позволило установить интенсивность и направленность изменений территории в указанный период.

Результаты и их обсуждение

Анализ промышленного и теплового загрязнения поверхностных вод

Являясь основными компонентами аккумулярующих и транзитных фаций, воды р. Вычегда характеризуют возможные воздействия и формирующиеся экологические проблемы, связанные с трансформацией компонентов экосистем территории. По классу качества воды реки отнесены к группам «3а» («весьма загрязненная») – «4а» («грязная») (Государственный..., 2011, 2014), что частично определяется природными факторами – естественной заболоченностью бассейна (средняя 11,7%, до 60% для басс. р. Башлыковка). Среди основных загрязняющих веществ естественного происхождения – соединения железа, цинка, марганца, фенолы, трудноокисляемые органические вещества. Постоянное

присутствие в водах соединений, относимых к классам инсектицидов и пестицидов, связывает загрязненность вод с широким развитием в бассейне сельского хозяйства. Используемые в с/х производстве земли приурочены к долинам крупных рек (2,1%). В водах отмечено присутствие гексахлорана (до 0,012 мкг/дм³), линдана (до 0,008 мкг/дм³), пестицидов группы ДДТ (до 0,005 мкг/дм³) и группы ДДЭ (до 0,001 мкг/дм³) (Государственный..., 2011, 2014). В водах рек бассейна отмечены и продукты химической переработки древесины ОАО «Монди СЛПК»: лигносульфонатов до 2 ПДК, метанола (до 5 ПДК). В 2013 году предприятиями-природопользователями в водотоки бассейна сброшено 84,2 млн м³ загрязненных сточных вод. Анализ температурных каналов спутниковых изображений Landsat достаточно отчетливо демонстрирует наличие точек сброса промышленных вод предприятия по сформированному за ними температурному шлейфу (рис. 3).

Наиболее информативны изображения позднеосеннего и ранневесеннего периода, обеспечивающие максимальный контраст сбрасываемых вод с температурными показателями «фона». Средние значения температуры в русле реки ниже участка сброса вод ОАО «Монди СЛПК» по спутниковым изображениям составили 7÷9°C. Согласно Приказа о рыбохозяйственных нормативах (№ 96 от 28.04.1999 г.) температура водного объекта рыбохозяйственного назначения не должна повышаться по сравнению с естественной температурой воды более чем на 5°C (с общим повышением температуры не более чем до 20°C летом и 5°C зимой) для водных объектов, где обитают холоднолюбивые рыбы (лососевые и сиговые), и не более чем до 28°C летом и 8°C в остальные сезоны. В местах нерестилищ налима запрещается повышать температуру воды зимой более чем на 2°C. Превышение температурных показателей на спутниковых изображениях демонстрирует повышение температуры в начале шлейфов сброса до 9–10°C и его превышение над фоновыми показателями на участках протяженностью до 15 км.

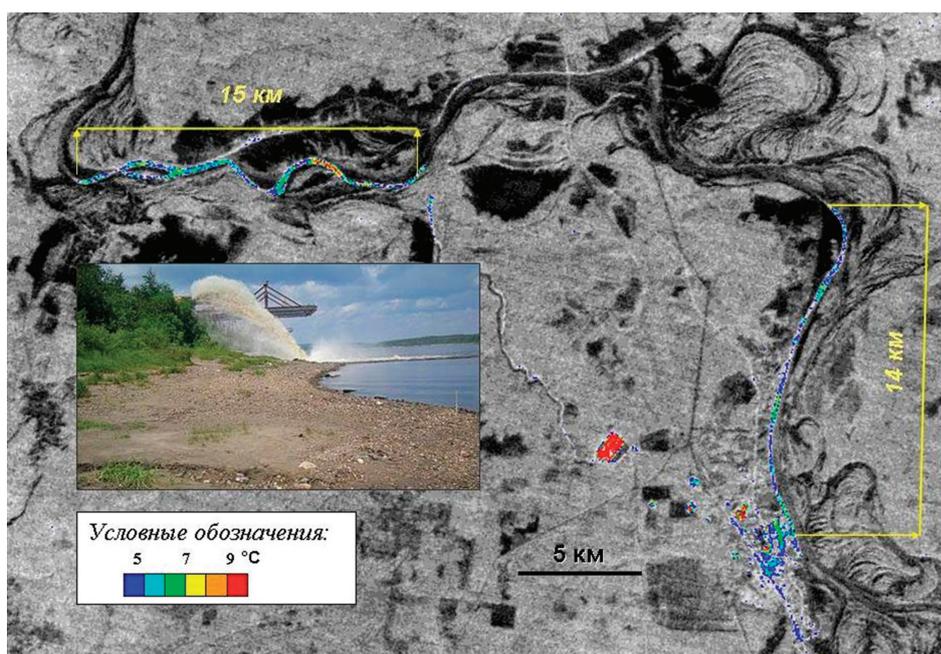


Рис. 3. Распределение теплового загрязнения вод р. Вычегда за счет сбрасываемых сточных вод ОАО «Монди СЛПК». Температурные каналы Landsat (02.04.2002)

Изменения площадей наземного покрова по разновременным мозаикам

Для анализа изменений наземных экосистем территории использованы результаты классификации мозаик изображений периодов: 1988–1990 гг. и 2010–2015 гг. На основании соотношения доли участия различных выделенных классов, участвующих в формировании площадей отдельных бассейнов, выделенные водосборные фрагменты сгруппированы в ряд кластеров (метод среднего арифметического) для их последующего исследования наземными инструментальными методами (рис. 4). В выделенных группах представлены водосборы с различным режимом землепользования: с/х производство, участки промышленного лесопользования, малонарушенные лесные территории, земли поселений. Сравнение группировки бассейнов по данным, полученным для разных сравниваемых периодов, показало отсутствие существенных изменений состава кластеров.

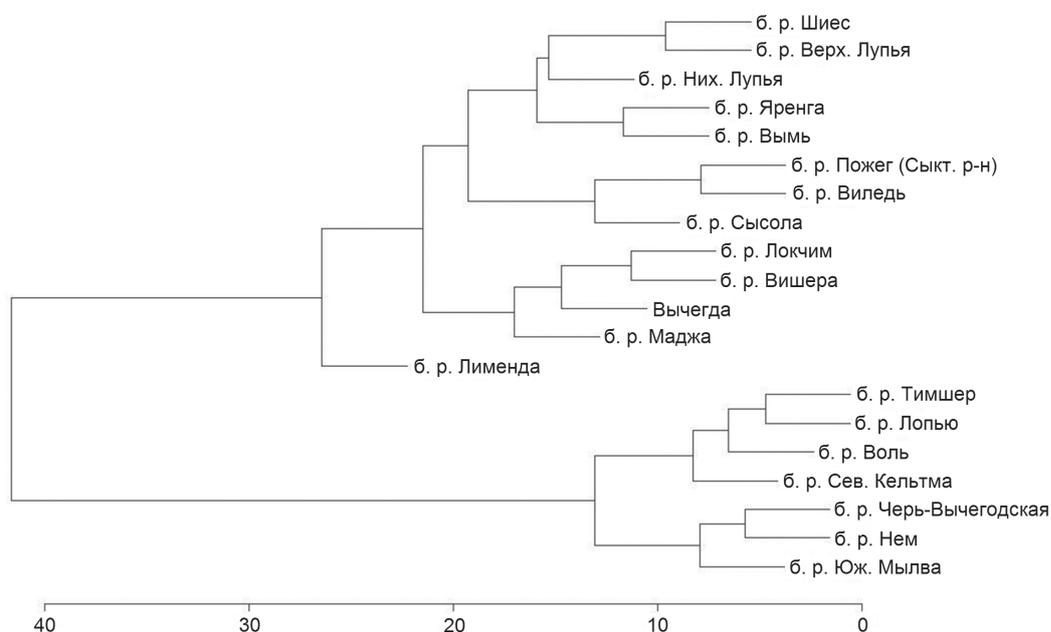


Рис. 4. Дендрограмма распределения (евклидово расстояние, метод среднего арифметического) на основании участия площадей выделенных классов для 20-ти наиболее крупных бассейнов первого порядка. Нижние кластеры представлены преимущественно лесными малонарушенными участками, средние – территориями сельскохозяйственного освоения, верхние – интенсивного промышленного лесопользования

Общая сходимость тематических растров бассейна р. Вычегда двух временных срезов составила 29,8%, каппа (κ) 21,9%. Наибольшие изменения площадей между сравниваемыми годами отмечены для участков с формирующимися лиственными лесами на месте рубок главного пользования. За период с 1980-х по 2015 гг. леса с доминированием лиственных пород увеличили площадь с 31,5% до 52,3%. Из них, несмотря на возможные сукцессионные замещения (рост участия хвойных пород и возможный переход пикселей при классификации в другой класс), смешанные елово-березовые леса увеличили площадь в 6,2 раза (с 6,1% до 31,6%). Доля хвойных лесов в бассейне сократилась с 56,7% до 37,4%, из них в наибольшей степени вырубкам подверглись дренированные склоновые массивы

(с 41,1% до 22,9%). Малонарушенные леса сильно фрагментированы, основные площади сосредоточены вдоль рек и ручьев, на заболоченных водоразделах в восточной, малонаселенной и труднодоступной, части Вычегодского бассейна. Сообщества с избыточным увлажнением (болотные комплексы и сфагновые сосновые леса) существенных изменений не претерпели (8,6% и 9,3%, соответственно).

Анализ изменений индекса NDVI

Использование спектральных вегетационных индексов для дистанционной оценки характеристик растительного покрова обеспечивает существенные преимущества ввиду их меньшей зависимости от изменений яркости почв, геометрических условий освещения, прозрачности атмосферы (Виноградов, 1984). Широко используемый индекс NDVI рассматривается как интегральный показатель фотосинтетической активности наземной растительности и определяется преимущественно запасом хлорофилла на единицу площади (хлорофильный индекс, ХИ). В лесных сообществах наибольшую долю (от 70% до 90%) в общем проективном содержании хлорофилла составлял первый ярус древостоя на уровне кронаобразующего слоя (Воронин и др., 1995).

Суммарная проективная концентрация хлорофилла в еловых лесах средней подзоны тайги в зависимости от типов леса колеблется от 24,3 кг/га (ельник долгомошный) до 33,3 кг/га (ельник черничный) (Тужилкина, Бобкова, 2010). В хвойно-лиственном фитоценозе она составляет 33,9 кг/га, в сосновых лесах – от 4,9 кг/га до 11,0 кг/га (наименьшие в древостоях сфагновых типов леса) (Тужилкина и др., 1998). Для верховых болот величина показателя принимает значения 5,7 кг/га. В целом, средние величины показателя для бореальных ботанико-географических формаций снижаются от 40 кг в средней и южной тайге до 20 кг/га в северной тайге (Воронин и др., 2004). При этом значение ХИ в лесных сообществах средней тайги определяется автотрофной частью древостоя (в спелых еловых насаждениях до 82%, хвойно-лиственных – 85%), с продвижением к северу данный показатель снижается (до 30–40% в северной тайге) (Тужилкина, Бобкова, 2010).

Для лесопокрытых территорий басс. р. Вычегда величины NDVI увеличивают средние значения в ряду: лишайниковые сосняки $0,75 \div 0,8$, темнохвойные $0,8 \div 0,85$, лиственные фитоценозы $0,9 \div 0,95$. Для нелесных земель выстроен ряд: населенные пункты и с/х угодья – 0,65 и ниже, комплексы болот – $0,7 \div 0,75$, луга – $0,85 \div 0,9$. В связи с высокой залесенностью, для территории басс. р. Вычегда среднее значение $NDVI_{MAX}$ сохраняет достаточно высокие показатели: $0,85 \pm 0,02$ (рис. 5а). Наиболее низкие значения отмечены в басс. малых рек: р. Парчь (0,79) и Кырнышаю (0,80), высокие – басс. р. Чаинка (0,90) и Шулега (0,89). Более низкие значения индекса маркируют участки крупных болотных массивов (более 1 тыс. км²), преимущественно сосредоточенных в восточных частях водосборов р. Вымь и р. Вишера (крупные болотные комплексы, имеющие большую площадную представленность (12–14% площади бассейна). Наиболее «сильно» заболочены бассейны рек Парчь и Торновка (20–23%). Высокий уровень антропогенной трансформации отмечен

на водосборах рек, примыкающих к городским поселениям: р. Лименда (до 75%) и р. Човью (72,8%), среди крупных – басс. р. Сысола (57,3%). Средние показатели для всего бассейна – 40,7%. Природные особенности экосистем сохранены в пределах бассейнов крупных водотоков: р. Вызь (31,3%), р. Сев. Кельтма (28,9%), р. Нем (19,7%).

Наиболее низкие межгодовые изменения индекса $NDVI_{MAX}$ отмечены для класса хвойных лесов (рис. 5б). Участки болот и лиственных лесов характеризовались большими показателями изменчивости, что связано с большим влиянием погодных условий на формирование признака. Расчет и картографическое отображение значений коэффициента линейного тренда (β) позволило установить участки статистически значимых изменений запасов зеленой фитомассы. Снижение показателя отмечено на участках пожаров, рубок, ветровалов. Рост значений был связан с восстановлением ранее нарушенных сообществ (рис. 5в).

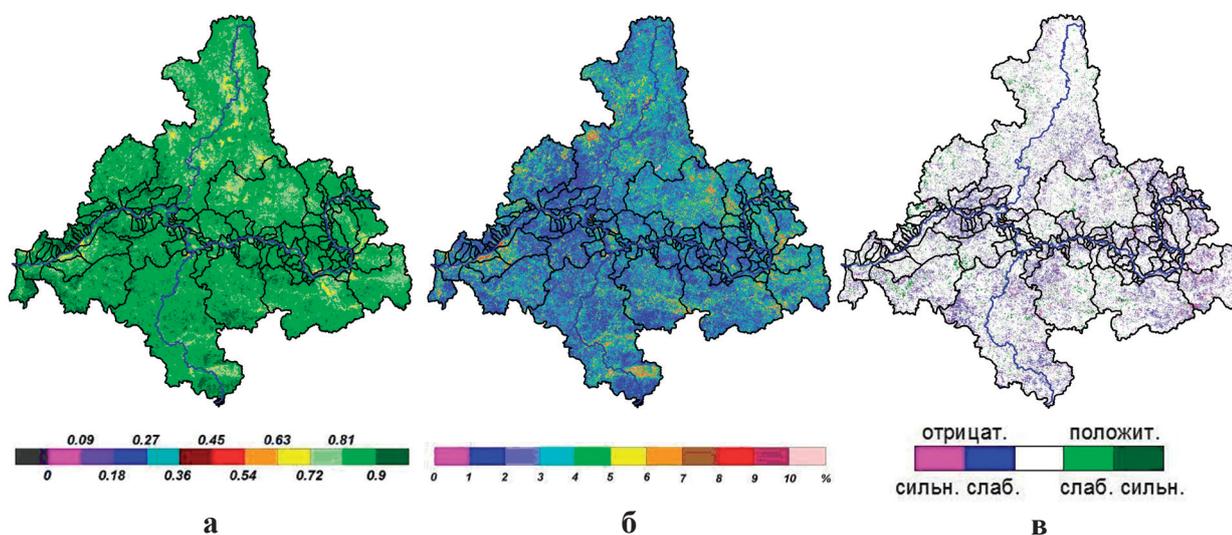


Рис. 5. Распределение рассмотренных показателей в пределах Вычегодского бассейна за период 2000–2011 гг. по данным обработки изображений MODIS: усредненные для разных лет максимальные значения $NDVI_{MAX}$ (а); коэффициент вариации показателя полученного набора измерений (CV, %) (б); коэффициент линейного тренда (β) (в)

Интенсивность площадных изменений показателя β в бассейнах малых рек водосбора р. Вычегда проявляется неоднозначно (рис. 6). Сильные, статистически значимые отрицательные изменения ($p=0,95$), связанные преимущественно со сплошными рубками и пожарами, отмечены в восточных частях, в басс. рек р. Ыджидьизья (26,2), р. Ыба (16,7%), р. Верью (11,2%). Слабые отрицательные изменения, связанные с рубками и пожарами начала 2000 гг., отмечены в восточной и центральной части Вычегодского бассейна. В связи с широким восстановлением нарушенных хвойных лесов и масштабным замещением хвойных пород лиственными, положительные значимые ($p=0,95$) изменения отмечены на всей территории бассейна р. Вычегда. Наиболее интенсивный рост показателя отмечен и в долинах крупных рек (прежде всего, р. Вычегда), что связано и с закустариванием невозделываемых сельскохозяйственных земель. Более низкие показатели изменений отмечены в восточной части бассейна.

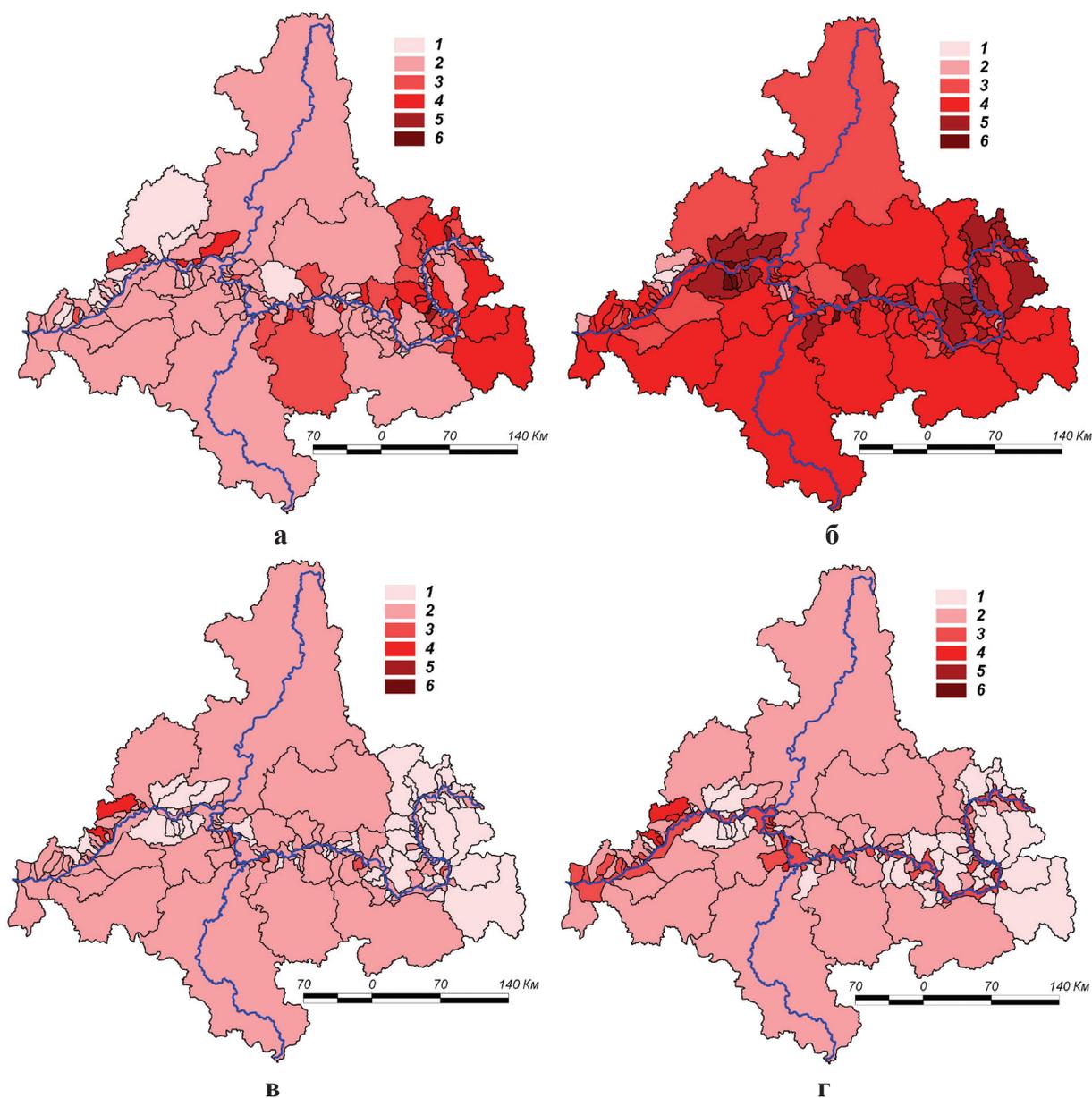


Рис. 6. Интенсивность площадных изменений в бассейнах малых рек водосбора р. Вычегда периода 2000–2011 гг. по данным временной съемки MODIS ($p=0,95$): сильные отрицательные (а); слабые отрицательные (б); слабые положительные (в); сильные положительные (г). Показаны наиболее крупные водотоки территории: р. Вымь, р. Вычегда, р. Сысола. Условные обозначения: 1 – изменения в пределах 1% территории бассейна, 2 – от 1% до 3%, 3 – от 3% до 5%, 4 – от 5% до 10%, 5 – от 10% до 20%, 6 – от 20% до 40%

Таким образом, в ходе выполненной работы показано, что для большей части территории басс. р. Вычегда характерны слабые изменения, связанные с сукцессионными сменами породного состава и зарастанием с/х земель. Наиболее существенные изменения отмечены в восточной части территории, что связано с интенсивными промышленными рубками. С другой стороны, данные участки пока сохранили крупные массивы малонарушенных лесов.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа» «Особенности структурной организации водных экосистем таёжной зоны Европейского Северо-Востока России, сформированных в условиях разных ландшафтов и экологических факторов» (15-12-4-43).

Литература

1. *Виноградов Б.В.* Аэрокосмический мониторинг экосистем. М.: Наука, 1984. 320 с.
2. *Воронин П.Ю., Ефимцев Е.И., Васильев А.А., Ватковский О.С., Мокроносов А.Т.* Проективное содержание хлорофилла и биоразнообразие растительности основных зон России // Физиология растений. 1995. Т. 42. № 2. С. 295–302.
3. *Воронин П.Ю., Коновалов П.В., Болондинский В.К., Кайбияйнен Л.К.* Хлорофильный индекс и фотосинтетический сток углерода в леса Северной Евразии // Физиология растений. 2004. Т. 53. № 5. С. 777–785.
4. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Республики Коми в 2010 году». Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми. Сыктывкар: ГУ «ТФИ РК», 2011. 116 с.
5. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Республики Коми в 2013 году». Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми. Сыктывкар: ГУ «ТФИ РК», 2014. 122 с.
6. *Кравцова В.И., Митькиных Н.С.* Устья рек России. Атлас космических снимков. Ред. В.Н. Михайлова. М.: Научный мир, 2013. 124 с.
7. *Мищенко Н.В.* Почвенно-продукционный потенциал экосистем речных бассейнов на основе наземных и дистанционных данных: автореф. дис. докт. биол. наук. Владимир. 2011. 50 с.
8. *Мищенко Н.В., Трифонова Т.А., Шоба С.А.* Почвенно-продукционный потенциал малых речных бассейнов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2009. № 4. С. 26–32.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 3. Северный край. Ред. Н.М. Жила. Л.: Гидрометеоиздат, 1965. 612 с.
10. *Савичев О.Г., Базанов В.А., Скугарев А.А.* О влиянии заболоченности и лесистости водосборов на водный сток рек таёжной зоны Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2011. № 344. С. 200–203.
11. *Терехов А.Г., Пак И.Т., Долгих С.А.* Данные LANDSAT 5,7,8 и ЦМР в задаче мониторинга гидрологического режима Капшагайского водохранилища на реке Текес (китайская часть бассейна реки Иле) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 6. С. 174–182.
12. *Трифорова Т.А., Мищенко Н.В., Репкин Р.В.* Оценка продукционного потенциала растительного покрова бассейна реки Оки с использованием материалов космической съемки // Проблемы региональной экологии. 2009. № 2. С. 94–98.
13. *Тужилкина В.В., Бобкова К.С.* Хлорофильный индекс в фитоценозах коренных ельников Европейского северо-востока // Лесной журнал. 2010. № 2. С. 17–23.
14. *Тужилкина В.В., Бобкова К.С., Мартынюк З.П.* Хлорофильный индекс и ежегодный фотосинтетический сток углерода в хвойные фитоценозы на европейском Севере России // Физиология растений. 1998. Т. 45. № 4. С. 594–600.
15. *Goetz S.J., Bunn A.G., Fiske G.J., Houghton R.A.* Satellite-observed photosynthetic trends across boreal North America associated with climate and fire disturbance // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS). 2005. Vol. 102. No. 38. P. 13521–13525.

Satellite data in analysis of changes in ecosystems of the Vychegda River basin

V.V. Elsakov, V.M. Schanov

*Institute of biology Komi SC UB RAS, Syktyvkar 167610, Russia
E-mail: elsakov@ib.komisc.ru*

The work presents results of analysis of changes in ecosystems of the Vychegda River basin (121.4 thousand km²) during the period of 1984–2015 that were obtained using Landsat images (episodic) and Envisat MODIS time series. Trends of changes in the structure of land fund were shown based on Landsat mosaics made for 1984–1990 and 2010–2015. Main changes of the ecosystems are determined by agricultural development, forestry and high level of swampiness. Early spring data of thermal Landsat channels enable monitoring heat water pollution. Temporal changes in composition of ground surface classes were revealed for 127 key sites in the basins of the first order rivers with an area from 10.8 km² (the Chernaya River basin) to 25.6 thousand km² (the Vym River basin). Indexes of swampiness were the highest for the basins of the rivers Parch (22.9%) and Tornovka (20.7%); indexes of anthropogenic transformation were maximal in the basin of the rivers Limenda (up to 75%) and Chov'yu (72.8%), while average value was 40.7%. Intact forest arrays exist mainly in the eastern part of the Vychegda basin and cover 37.4% of the territory. Analysis of trends in interannual changes in NDVI from MODIS time series in 2000–2011 revealed areas with opposite directed trends of degradation/recover of vegetation. The most stable values were revealed for indigenous spruce forests.

Keywords: trends in ecosystem changes, Vychegda River, satellite methods, analysis of temporal composites

*Accepted: 20.06.2016
DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-135-145*

References

1. Vinogradov B.V., *Aerokosmicheskii monitoring ekosistem* (The aerospace ecosystem monitoring), Moscow: Nauka, 1984, 320 p.
2. Voronin P.Yu., Efimtsev E.I., Vasil'ev A.A., Vatkovskii O.S., Mokronosov A.T., Proektivnoe sodержanie khlorofilla i bioraznoobrazie rastitel'nosti osnovnykh zon Rossii (The projective chlorophyll content of vegetation and biodiversity of Russia's main geobotanical zones), *Fiziologiya rastenii*, 1995, Vol. 42, No. 2, pp. 295–302.
3. Voronin P.Yu., Konovalov P.V., Bolondinskii V.K., Kaibiyainen L.K., Khlorofil'nyi indeks i fotosinteticheskii stok ugleroda v lesa Severnoi Evrazii (The chlorophyll index and photosynthetic carbon flow in the forests of Northern Eurasia), *Fiziologiya rastenii*, 2004, Vol. 53, No. 5, pp. 777–785.
4. *Gosudarstvennyi doklad "O sostoyanii okruzhayushchei prirodnoi sredy Respubliki Komi v 2010 godu"* (Natural environment of Komi Republic in 2010. State Report of Ministry of Natural Resources and Environmental Protection), Syktyvkar: GU TFI RK, 2011, 116 p.
5. *Gosudarstvennyi doklad "O sostoyanii okruzhayushchei prirodnoi sredy Respubliki Komi v 2013 godu"* (Natural environment of Komi Republic in 2013. State Report of Ministry of Natural Resources and Environmental Protection), Syktyvkar: GU TFI RK, 2014, 122 p.
6. Kravtsova V.I., Mit'kinykh N.S., *Ust'ya rek Rossii. Atlas kosmicheskikh snimkov* (Russian River estuaries. Atlas of satellite images), Moscow: Nauchnyy mir, 2013, 124 p.
7. Mishhenko N.V., *Pochvenno-produktsionnyi potentsial ekosistem rechnykh basseinov na osnove nazemnykh i distantsionnykh dannykh: avtoref. dis. dokt. biol. nauk* (The estimation of soil-productivity potential of the river basin ecosystems on the basis of ground and remote sensing data: syn. doct. bio. sci. thesis), Vladimir, 2011, 50 p.
8. Mishhenko N.V., Trifonova T.A., Shoba S.A., *Pochvenno-produktsionnyi potentsial mal'nykh rechnykh basseinov* (The soil-productivity potential of small river basins), *Vestnik Mosk. universiteta. Ser. 17. Pochvovedenie*, 2009, No. 4, pp. 26–32.
9. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR: Gidrologicheskaya izuchennost'. Severnyi krai* (Resources of surface waters of the USSR: The hydrological study. Northern Territory), Vol. 3, Leningrad: Gidrometeoizdat, 1965, 612 p.
10. Savichev O.G., Bazanov V.A., Skugarev A.A., O vliyani zabolochennosti i lesistosti vodosborov na vodnyi stok rek taеzhnoi zony Zapadnoi Sibiri (About the influence of wetland and forested watersheds to the rivers water flow of the taiga zone of Western Siberia), *Tomsk State Univ. J.*, 2011, No. 344, pp. 200–203.
11. Terekhov A.G., Pak I.T., Dolgikh S.A., Danye LANDSAT 5,7,8 i TsMR v zadache monitoringa gidrologicheskogo rezhima Kapshagaiskogo vodokhranilishcha na reke Tekes (kitaiskaya chast' basseina reki Ile) (Landsat (5, 7, 8) data and DEM for monitoring of the hydrological regime of Kapchagai reservoir on the Tekes river (the Chinese part of the Ili river basin)), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 6, pp. 174–182.
12. Trifonova T.A., Mishchenko N.V., Repkin R.V., Otsenka produktsionnogo potentsiala rastitel'nogo pokrova basseina reki Oki s ispol'zovaniem materialov kosmicheskoi s'emki (The estimation of a production capacity of the plant cover of the Oka River basin using satellite data), *Problemy regional'noi ekologii*, 2009, No. 2, pp. 94–98.
13. Tuzhilkina V.V., Bobkova K.S., Khlorofil'nyi indeks v fitotsenozakh korennykh el'nikov Evropeiskogo severovostoka (The chlorophyll index of indigenous spruce forests plant communities of the European North-East area), *Lesnoj zhurnal*, 2010, No. 2, pp. 17–23.
14. Tuzhilkina V.V., Bobkova K.S., Martynjuk Z.P., Khlorofil'nyi indeks i ezhegodnyi fotosinteticheskii stok ugleroda v khvoynye fitotsenozy na evropeiskom Severe Rossii (The chlorophyll index and annual photosynthetic carbon flow in the coniferous plant communities at the European North of Russia), *Fiziologiya rastenii*, 1998, Vol. 45, No. 4, pp. 594–600.
15. Goetz S.J., Bunn A.G., Fiske G.J., Houghton R.A., Satellite-observed photosynthetic trends across boreal North America associated with climate and fire disturbance, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 2005, Vol. 102, No. 38, pp. 13521–13525.