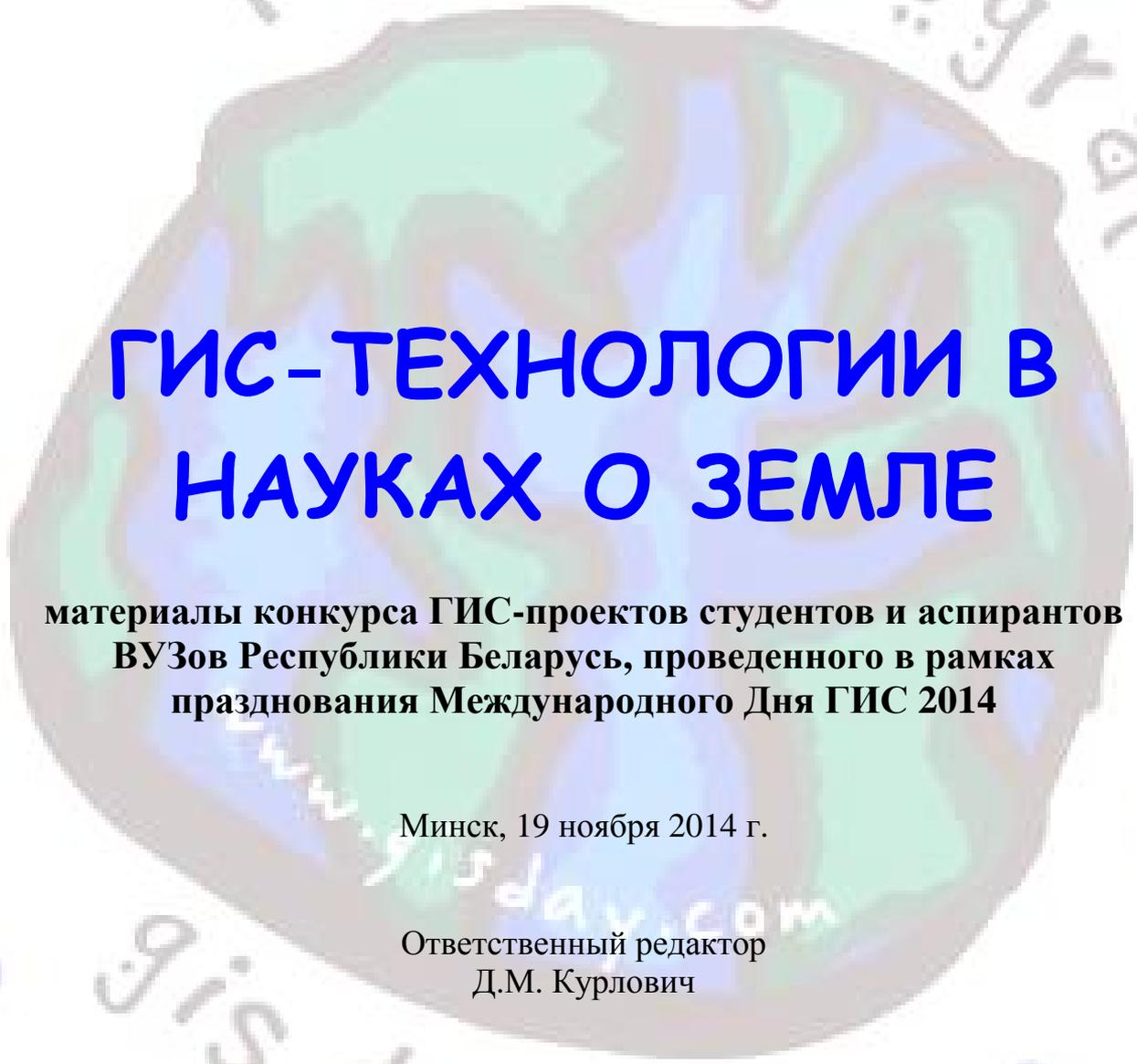


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

A stylized globe with green and blue continents and oceans, surrounded by blue brushstroke-like lines. The text 'GIS DAY' is written in a light blue, hand-drawn font around the globe. The title 'ГИС-ТЕХНОЛОГИИ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ' is written in bold blue capital letters across the center of the globe.

ГИС-ТЕХНОЛОГИИ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ

**материалы конкурса ГИС-проектов студентов и аспирантов
ВУЗов Республики Беларусь, проведенного в рамках
празднования Международного Дня ГИС 2014**

Минск, 19 ноября 2014 г.

Ответственный редактор
Д.М. Курлович

МИНСК
2014

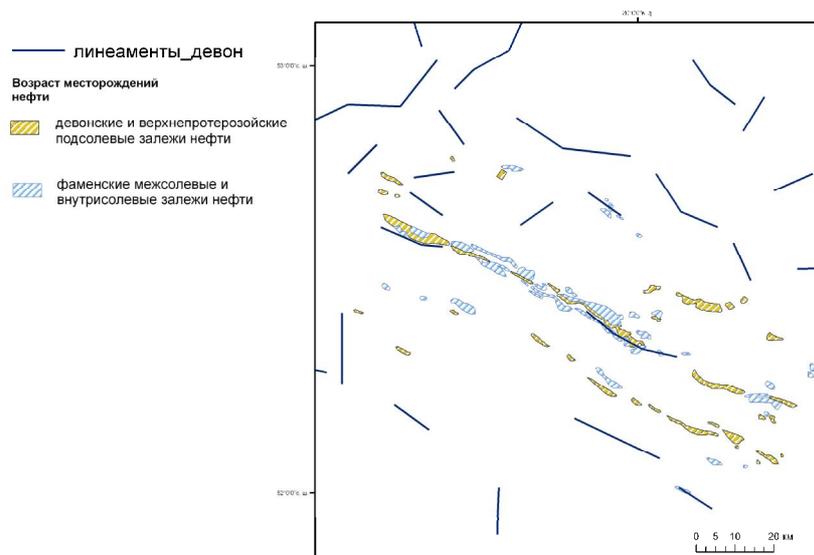


Рис. 5. Карта расположения нефтяных месторождений Припятского прогиба и линеаментов, выявленных в кровле девонских отложений

ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеев, А.В. Линеаменты территории Беларуси / А.В. Матвеев, Л.А. Нечипоренко. – Минск: Ин-т геологич. наук НАН Беларуси, 2001. – 124 с.
2. Нечипоренко, Л.А. Линеamentная сеть как индикатор глубинного строения территории Белоруссии / Л.А. Нечипоренко, Л.С. Вольская // Эффективность аэрокосмических методов в изучении недр Белоруссии и охране геологической среды: Сб. ст. – Минск: БелНИГРИ, 1988. – С. 22–25.
3. Разломы и линеаменты земной коры Беларуси [Электронный ресурс] – <http://innosfera.org/node/483>.

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ДИНАМИКИ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

А.С. Скачкова

аспирант кафедры почвоведения и земельных информационных систем географического факультета
Белорусского государственного университета

Д.М. Курлович

к.г.н., доцент, доцент кафедры почвоведения и земельных информационных систем географического факультета
Белорусского государственного университета

Мониторинг, периодические наблюдения, выявление изменений – все эти виды исследований получили новый импульс и направление развития с распространением данных дистанционного зондирования (ДДЗ): расширились возможности как оперативного мониторинга, так и ретроспективного анализа. Самый длинный ряд (для спутников природно-ресурсного назначения) наблюдений сформирован спутниками серии Landsat и начинается с 1972 г., несколько уступают им архивы SPOT (1986 г.) и MODIS (1999 г.). Сам факт

использования протяженных временных рядов ДДЗ в исследованиях ландшафтов следует рассматривать как применение одного из традиционных методов ландшафтных исследований – хронологического. Вкупе с материалами наземных измерений, ДДЗ представляют собой эффективный инструмент отслеживания состояния и изменения различных компонентов ландшафта и самого ландшафта как такового.

Возможность использования ДДЗ в качестве основы для мониторинга основывается на установленной взаимосвязи между свойствами наблюдаемых объектов и закономерностями их отображения на снимке (что выражается в различных количествах отражаемой электромагнитной радиации, регистрируемой сенсором). Таким образом, некоторые изменения состояния объектов могут быть обнаружены при изменении характера отражения.

Необходимо различать развитие и динамику ландшафта: развитие трактуется как необратимое, направленное и закономерное изменение объектов, обусловленное взаимодействием внешних факторов. Динамика же понятие более широкое – это совокупность всех процессов развития природно-территориальных комплексов (ПТК), как вызывающих процессы обратимые и необратимые, ритмичные и неритмичные, закономерные или случайные [1]. Таким образом, под динамикой ландшафта в данном случае подразумевается направленное усложнение структуры ландшафта, обусловленное его генетическим инвариантом (природным и хозяйственным), в пределах которого возможна трансформация некоторых ландшафтных элементов и компонентов. Обе категории изменения могут реализоваться через состояния и смены ПТК. Состояния соответствуют различным по продолжительности интервалам времени (суточным, годовым, многолетним) в существовании ландшафта, тогда как его компоненты относительно стабильны. В зарубежной литературе для обозначения этой характеристики ландшафта применяют термин «modification» – поступательные изменения, влияющие на некоторые свойства ландшафта, без изменения его места в используемой классификационной схеме. Смена ПТК подразумевает полную замену комплекса, что может быть вызвано изменениями внешних условий и выражается в необратимой модификации его компонентов. Это понятие полностью совпадает с применяемым у зарубежных авторов «conversion» – смена, обращение [2, 3].

При работе с ДДЗ часто использует довольно формальное определение изменения ПТК: смена спектральных либо пространственных свойств объекта наблюдения [3]. Это определение ориентировано на техническую сторону вопроса обнаружения изменений, однако подчеркивает то, что с помощью ДДЗ могут быть зарегистрированы различные типы динамики ландшафта. Не все изменения, выявление которых потенциально возможно, одинаково важны для исследователя. Наиболее простыми для обнаружения являются именно состояния ландшафта с различными характеристиками, в отличие от многолетних трендов, ведущих в итоге к смене ландшафта, хотя оба эти явления могут выступать предметом исследования. Поэтому понимание природы происходящих изменений включает не только их обнаружение, но и

правильный анализ и осмысление. Ввиду всего выше сказанного, не следует приравнивать анализ изменений к анализу динамики ландшафта.

Различные обзоры выделяют до 11 методов выявления изменений по ДДЗ [2-5]. Все эти способы ограничены в достоверности пространственным, временным, спектральным разрешением данных, что может отражаться на результатах анализа. Более того, различные алгоритмы могут дать значительное расхождение результатов, поэтому выбор правильного алгоритма напрямую влияет на достоверность выходной информации.

Традиционно методы делятся на две группы: ориентированные на работу с двумя снимками и серией снимков. Кроме того, в силу принципиально различных подходов, можно выделить методы, основанные на анализе изменений по исходным снимкам и по тематическим продуктам (результатам тематического дешифрирования).

Табл. 1. Характеристика изменений, регистрируемых различными методами

<i>Метод</i>	<i>Тип изменений</i>	<i>Характер изменений</i>	<i>Продолжительность изменений</i>
Разностные изображения	смены и состояния	резкие и поступательные	сезонные и долгосрочные
Относительные изображения	смены	резкие	долгосрочные
Преобразование цветового пространства	смены и состояния	резкие и поступательные	сезонные и долгосрочные
Векторный анализ изменений	смены и состояния	резкие и поступательные	сезонные и долгосрочные
Мультивременные композитные изображения	состояния	поступательные	сезонные
Постклассификационный анализ	смены	резкие	долгосрочные

При сравнении состояния ландшафта по двум снимкам целью является установление изменений, произошедших за определенный временной интервал. При этом существенное значение имеют календарные даты съемки: это необходимо для нивелирования эффектов различных условий съемки (высоты Солнца, вегетационных фаз), увлажнения и температуры. Обычно прибегают к выполнению съемки в наиболее «стабильные» сезоны: летом и зимой, или же в характерные моменты вегетации. Временной интервал для выявления изменений зависит от объекта наблюдений: это может быть несколько месяцев или даже недель для диагностики состояния сельскохозяйственных культур, и до 15 лет для мониторинга восстановления лесов после рубок.

Создание разностных изображений. Метод состоит в вычитании яркости пикселей старого изображения из нового. Во избежание отображения различных изменений равными значениями, разницу значений пикселей делят на их сумму [4]. Обязательными условиями при использовании этого метода являются радиометрическая коррекция данных и точное совпадение географической привязки. Для анализа могут использоваться как отдельные

съёмочные каналы, так и индексные изображения. Полученное разностное изображение обычно отображается с помощью цветовой таблицы и анализируются все значения, кроме нулевых (неизменных). Метод является наиболее простым и очевидным решением при поиске изменений, тем не менее, он показывает высокую достоверность результатов. Особенностью является неизбежность анализа всех типов и масштабов изменений, попавших на снимок.

Создание относительных изображений. Метод схож с предыдущим, однако вычисляется отношение интересующих каналов разновременных снимков. Пиксели без изменений имеют значение 1, остальные – выше или ниже.

Преобразование цветового пространства разновременных данных. Используются преобразования главных, независимых компонент (РСА/СА) и Tasseled Cap в применении к серии снимков. Сложность использования этих методов заключается часто в невозможности найти однозначную физическую интерпретацию результатов без дополнительного анализа исходных изображений.

Векторный анализ изменений состоит из нескольких шагов: преобразовании Tasseled Cap сегментации компонент brightness и greenness на однородные группы пикселей. Далее анализируется поведение этих групп (скорость движения и направление) в спектральном пространстве. Это один из первых методов автоматического выявления и характеристики изменений [4].

Создание мультивременного композита подразумевает синтез цветного изображения из нескольких, полученных схожими съёмочными системами на одну и ту же территорию. Часто применяется для быстрого поиска рубок, гарей и иных повреждений в лесных массивах. Анализ таких мультивременных «стеков», полученных в течение одного года, позволяет дешифровать различные типы растительности, основываясь на знаниях об особенностях их развития на протяжении вегетационного периода. Поэтому композитные изображения могут использоваться и как основа для ландшафтного дешифрирования. Недостатком метода является сложность в интерпретации полученных изображений и необходимость в большом количестве классов (как стабильных, так и динамичных) при распознавании.

При методе *сравнения результатов классификации (постклассификационный анализ)* данные за разные даты дешифрируются независимо, однако в одной классификационной схеме. Использование этого метода не требует тщательной радиометрической калибровки и, при правильном выборе классификационной схемы, позволяет избежать артефактов и несущественных колебаний состояния ландшафта. Существенным недостатком является зависимость точности итогового распознавания изменений от точности классификации: при значительных ошибках в исходных данных, точность результатов оказывается неприемлемо низкой.

Анализ временных серий изображений состоит в сравнении развития во времени различных индикаторов состояния ландшафта, получаемых по снимкам. Изменением считается отклонение динамики пикселя от нормального

(среднего, оптимального) хода развития. Такой подход позволяет обойти проблему тщательного подбора снимков, рассматривая изменения спектральных свойств объектов во времени, но требует значительно большего количества данных, собираемых на постоянной основе. В настоящий момент основным ограничением его применения для исследований мелче регионального масштаба является низкое пространственное разрешение данных с высоким временным разрешением.

Стоит отметить, что перекрестная проверка методов, основанных на анализе двух и серии снимков [3], показывает существенное статистическое совпадение результатов. Кроме того, для достижения оптимального результата, на различных масштабах (временных и территориальных) может быть использована совокупность описанных методов [6]. Обзор применения различных методов при исследованиях динамики геосистем показывает, выбор метода большей частью обусловлен прикладными аспектами работы, чем его достоверностью [2-9].

Выявления изменений площадей земельных угодий, как основного индикатора динамики природно-антропогенных ландшафтов нами было выполнено на примере тестового участка в Белорусском Поозерье.

Рассматриваемая территория (площадью 3276 км²) расположена в центральной части Витебской области, охватывает Полоцкий и Россонский районы. Преобладающая часть занята Полоцкой озерно-ледниковой низиной с еловыми, сосновыми и мелколиственными лесами на дерново-подзолистых и дерново-подзолистых заболоченных почвах; в ее пределах протекает р. Зап. Двина. С севера участок обрамляет Освейская краевая ледниковая гряда с сосновыми и мелколиственными лесами на дерново-подзолистых почвах; с юга – Ушачская ледниковая возвышенность с холмисто-моренно-озерным рельефом, еловыми и мелколиственными лесами на дерново-подзолистых, реже – дерново-подзолистых заболоченных почвах. Конфигурация участка определяется его расположением на стыке двух треков Landsat (рис. 1).

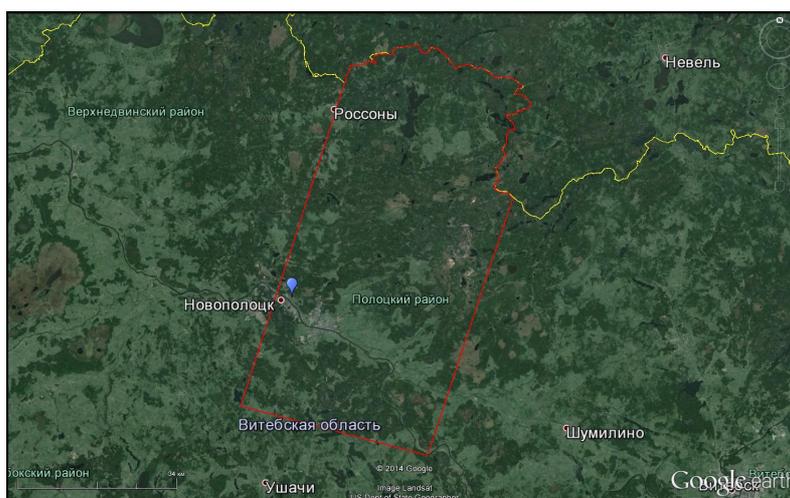


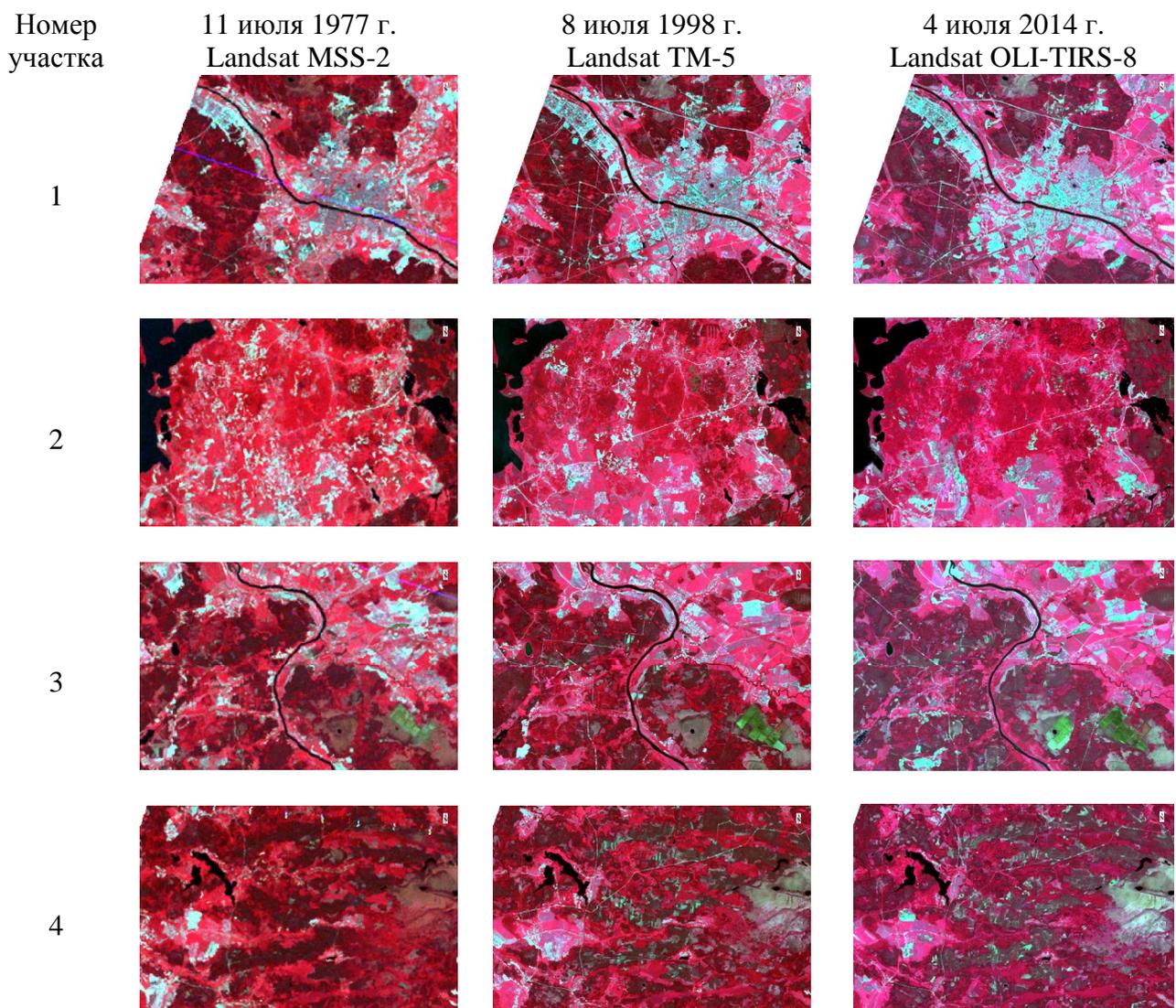
Рис. 1. Территория исследования

Территория была выбрана как пример ландшафта, испытавшего сильную антропогенную нагрузку в недавнем времени. Так, в марте 1958 г. было

принято решение о строительстве на левом берегу Западной Двины комплекса по нефтепереработке, он занял место сразу нескольких деревень: Троицкая, Дручаны, Шпинькова, Дачевщина, Новики, Зуи и другие. Строительный поселок возник на месте семи деревень – Слобода, Середома, Плаксы, Василевцы, Подкастельцы, Дуброво, Козина; он получил название Новополоцк и областное подчинение. Позже в 5-ти километровой зоне от города были построены химический комбинат (1968 г.), завод белково-витаминных концентратов (1978 г.); в черте города – завод «Измеритель» (1979 г.), хлебозавод (1990 г.).

Таким образом, в пределах участка можно ожидать нижеследующие типы изменений (рис. 2). *Смены:*

§ переход земель сельскохозяйственного назначения, лесного фонда под застройку (переход лес/пашня/луга → застроенные земли);



1 – расширение застроенных территорий; 2 – рубки и восстановление леса, изменения севооборотов; 3 – заболачивание и осушение земель; 4 – рубки и восстановление лесов, заболачивание и осушение земель

Рис. 2. Участки характерных изменений

§ переход земель сельскохозяйственного назначения в лесной фонд (переход пашня/луга → леса);

§ заболачивание лесных и сельскохозяйственных земель (лес/пашня/луга → заболоченные земли).

Состояния:

§ изменения севооборотов (переход пашня/пастбище/залежь);

§ рубки и восстановление лесов (переходы между различными типами леса: хвойные/смешанные/лиственные и рубками).

Для выявления изменений использованы снимки Landsat за три даты: 11 июля 1977 г., 8 июля 1998 г. и 4 июля 2014 г. (рис. 3).

Предварительная обработка данных потребовала радиометрической калибровки, согласования пространственной привязки и экстенгов. Ниже приведены результаты выявления таких изменений различными методами.

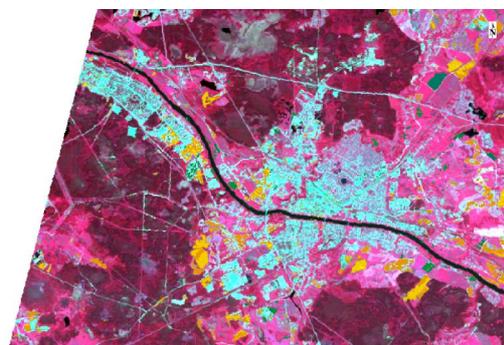
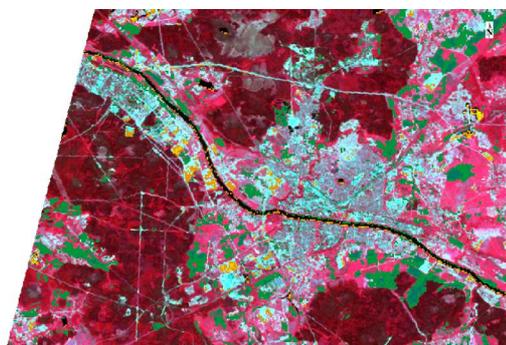
Используемые изображения получены с различных сенсоров, поэтому вычислять разницу непосредственно между каналами с разными диапазонами некорректно – использованы индексные изображения (NDVI); вычислялась нормализованная разность. *Разностные изображения* показывают одновременно смены и состояния, особенно много изменений детектируется при смене севооборотов. Так же четко дешифрируются новые площади застройки (рис. 3).

Номер участка

Изменения 1977-1989 гг.

Изменения 1988-2014 гг.

1



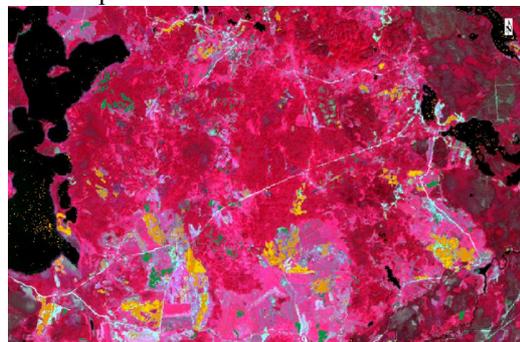
Смены: отдельные участки новой застройки в пределах города, восстановительные сукцессии биоценозов; *Состояния:* севообороты

Смены: участки новой застройки в пределах города, восстановительные; *Состояния:* севообороты

2



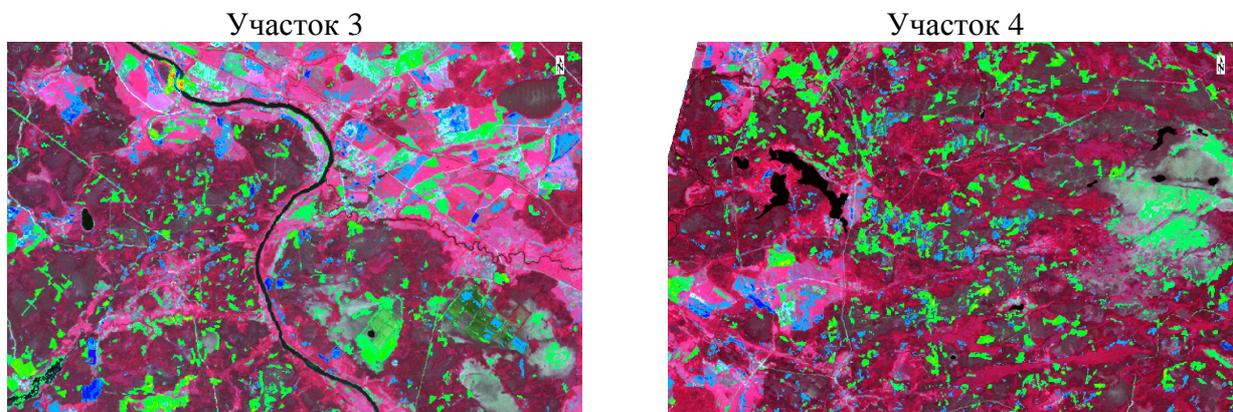
Смены: восстановительные сукцессии лесов



Смены: рост площадей пашни за счёт лесных земель

Рис. 3. Разностные изображения (оттенки зелёного соответствуют росту NDVI, желтого - уменьшению)

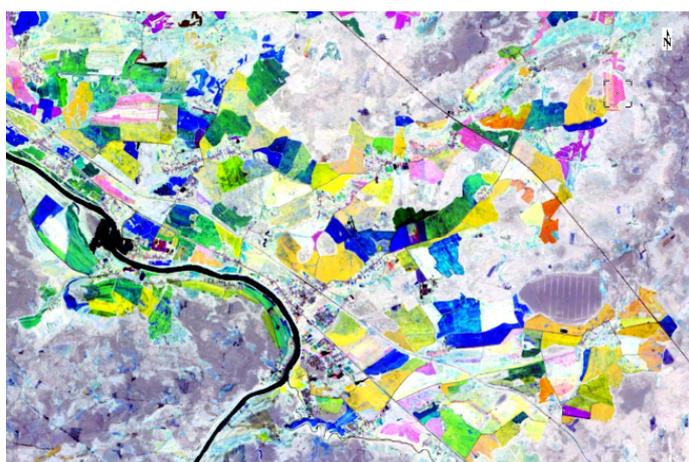
Установлено, что наибольшее количество информации об изменениях на снимке несут 3 и четвертая главные компоненты [3]. В отличие от предыдущего метода, полученное изображение по методу *преобразования цветового пространства* говорит только об интенсивности, а не о направленности изменений (рис. 4).



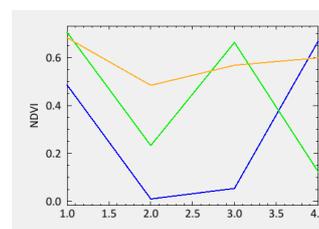
Выделяются разномасштабные изменения в структуре лесов (восстановление после рубок, изменение породного состава), а так же болотных комплексов (разработка торфяника на участке 3)

Рис. 4. Преобразование цветового пространства по методу главных компонент для изображений за 1988 и 2014 гг. (отображение в индексированных цветах соответствует экстремальным значениям в 4 компоненте)

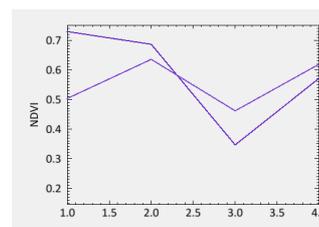
На рис. 5 приведен прием использования *мультивременного композита* для дешифрирования пахотных и луговых земель. Ход NDVI для этих типов угодий разноичен: пашня дважды в год (на момент сева и уборки) оказывается свободной от растительности ($NDVI \leq 0.025$), в то время как луга, пастбища или залежи на протяжении всего вегетационного периода покрыты растительностью.



Мультивременной композит NDVI
(R: 2014-05-19, G: 2014-06-04, B: 2014-08-07)
Оттенки желтого, зеленого и синего соответствуют пахотным землям, засеянным различными культурами, розового, серого – луговым



ход NDVI для пахотных земель



ход NDVI для луговых земель

Рис. 5. Использование мультивременного композита для разделения пахотных и луговых земель

ЛИТЕРАТУРА

1. Мамай, И.И. Динамика ландшафтов: Методика изучения / И.И. Мамай. – М.: Изд-во МГУ, 1992. 167 с.
2. Wilkinson, D.W. Change Detection Techniques for Use in a Statewide Forest Inventory Program / D.W. Wilkinson, R.C. Parker, D.L. Evans // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – ASPRS, 2008, Vol. 74, № 7. – P. 893-901.
3. Coppin, P.R. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review / P. Coppin, I. Jonckheere, K. Nackaerts, B. Muys // International Journal of Remote Sensing. – Taylor and Francis, 2004. – Vol. 25, № 9, May 2004. – P. 1565–1596.
4. Coppin, P.R. Change Detection in Forest Ecosystems with Remote Sensing Digital Imagery / P.R. Coppin, Marvin E. Bauer // Remote Sensing Reviews. – Taylor & Francis, 1996, №13. – P. 207-234.
5. Petitjeana, F. Spatio-Temporal Reasoning for the Classification of Satellite Image Time Series / F. Petitjeana, C. Kurtza, P. Gancarskia // Pattern Recognition Letters. – Elsevier, 2012. – Vol. 33, Issue 13, 1 October 2012. – P. 1805-1815.
6. Wilkinson, D.W. Change Detection Techniques for Use in a Statewide Forest Inventory Program / D.W. Wilkinson, R.C. Parker, D.L. Evans // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – ASPRS, 2008, Vol. 74, № 7. – P. 893-901.
7. Griffiths, P. Agricultural land change in the Carpathian ecoregion after the breakdown of socialism and expansion of the European Union / P. Griffiths, D. Muller, T. Kuemmerle, P. Hostert // Environmental research letters. – IOP Publishing Ltd, 2013. – Vol.8. - №4, 2013. – P. 24-36
8. Potapov, P.V. Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000–2010, with Landsat ETM+ data / P.V. Potapov, S.A. Turubanova, M.C. Hansen [et. al] // Remote Sensing of Environment. – Elsevier, 2012. – Vol. 122. – P. 106-116 .
9. Fichera, C.R. Land Cover classification and change-detection analysis using multi-temporal remote sensed imagery and landscape metrics / C.R. Fichera, G. Modica1, M. Pollino // European Journal of Remote Sensing. – №45. –2012. – P.1-18.
10. Prishchepov, A.V. Determinants of agricultural land abandonment in post-Soviet European Russia / A. V. Prishchepov, D. Müller, M. Dubinin, M. Baumannb, V. C. Radeloffb // Land Use Policy. – Elsevier, 2013. – Vol.30, 2013. – P. 873- 884.

КАРТОГРАФИЧЕСКИЙ ГИС-АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РЕЛЬЕФА И ГИДРОГРАФИИ (НА ПРИМЕРЕ ВОЛОЖИНСКОГО РАЙОНА)

Б.А. Жоров

студент 5-го курса кафедры почвоведения и
земельных информационных систем географического факультета
Белорусского государственного университета

Д.М. Курлович

к.г.н., доцент, доцент кафедры почвоведения и
земельных информационных систем географического факультета
Белорусского государственного университета

Исходными данными для проекта послужили топографические карты рабоче-крестьянской красной армии (РККА), изданные в 1920-1930-х гг. масштаба 1 : 100 000, а также векторные данные аналогичного масштаба, отражающие современное состояние рельефа и гидрографии Воложинского района.