

ВОЗМОЖНОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВОДООХРАННЫХ ЛЕСОВ

Л. В. Тарасова, А. С. Зорина

Поволжский государственный технологический университет

Представлен обзор отечественных и зарубежных статей по вопросам проведения оценки и мониторинга водоохранных лесов с применением данных дистанционного зондирования. Лесные насаждения, расположенные вдоль русел рек и других водоемов, играют важную роль в сохранении и поддержании экосистем. Основными задачами настоящего исследования являются: проведение анализа подходов к исследованию прибрежных лесов с использованием спутниковых данных; рассмотрение методов тематического картографирования для изучения состава, структуры наземного покрова и обнаружения изменений, степени его нарушения, исследование методики оценки влияния различных факторов на пойменные экосистемы и последствий выявленных тенденций. Объектом исследования служат защитные лесные насаждения, произрастающие вдоль различных водоемов на территории разных стран мира. Спутниковая система Landsat широко используется в дистанционном мониторинге прибрежных территорий, а появление системы Sentinel значительно расширяет возможности оценки и анализа лесного покрова за счет широкого охвата территории и высокого пространственного и временного разрешения. Применение индексных изображений позволяет более точно выделить основные классы наземного покрова прибрежных территорий, таких как растительность, водные объекты, объекты застройки. Анализ подходов к исследованию прибрежных лесов по спутниковым данным показал, что учеными используются различные методики тематического картографирования с использованием как управляемой, так и неуправляемой классификации. Также исследователями широко применяются гибридные подходы – сочетание нескольких способов классификации и индексных изображений. Исследование изменений наземного покрова по спутниковым данным эффективно проводится с помощью ландшафтных индексов, позволяющих проанализировать разнообразие, структуру лесной растительности и степень её фрагментации. С помощью оценки эколого-хозяйственного баланса можно установить сбалансированность различных видов деятельности и интересов различных групп населения на территории с учетом потенциальных и реальных возможностей экосистем. Статья носит обзорный характер и будет интересна тем, кто занимается дистанционным мониторингом окружающей среды.

Ключевые слова: лесные насаждения, дистанционное зондирование; спутниковые данные, ландшафтное разнообразие, ландшафтные метрики; эколого-хозяйственный баланс.

REMOTE SENSING FOR MONITORING WATER-CONSERVATION FORESTS

L. V. Tarasova, A. S. Zorina

Volga State University of Technology

The article reviews national and international research papers concerning the assessment and monitoring of water conservation forests using remote sensing data. Forest stands located along riverbeds and other water reservoirs play an important role in the conservation and maintenance of ecosystems. The main objective of this paper is to analyze the approaches to coastal forests using satellite data. For the purpose of the current research we used the method of thematic mapping to study the composition, structure and changes of land cover, and the degree of its disturbance. We also investigated the methods of assessing the impact of various factors on floodplain ecosystems and the consequences of the identified trends. The research focuses on protective forest plantations that grow along various reservoirs in different countries of the world. The Landsat satellite system is widely used in remote sensing of coastal areas, and the advent of the Sentinel system significantly

expands the functional capacity of assessment and analysis of forest cover due to wide coverage and high spatial and temporal resolution. The use of index images allows to identify the main classes of land cover of coastal areas including vegetation, water bodies, and building sites. The analysis of approaches to coastal forest research based on satellite data has proved that scientists use different methods of thematic mapping employing both supervised and unsupervised classification. A hybrid approach is also widely used by scholars, when several methods of classification and index images are combined together. The dynamics of land cover tracked down by satellite data is effectively carried out using landscape indices that allow to analyze the diversity and the structure of forest vegetation, as well as the degree of its fragmentation. By assessing environmental and economic issues, it is possible to find the balance between the various activities and interests of different groups of stakeholders, taking into account the capacity of ecosystems. The paper may represent interest for specialists engaged in remote sensing of environmental monitoring.

Keywords: *forestry; remote sensing; landscape diversity; landscape metrics; ecological and economic balance.*

Введение. Площади лесных насаждений, расположенных вдоль русел рек и других водоемов, занимают небольшую территорию всей площади суши, тем не менее, их роль в сохранении и поддержании этих экосистем чрезвычайно важна и представляет большой интерес для широкого круга исследователей (Congalton et al., 2002; Войтко, 2009; Макеева, 2016; Gilbert et al., 2016, Lee, 2019). Интенсивное антропогенное воздействие на защитные леса в разных регионах мира приводит к их сокращению и исчезновению (Weissteiner et al., 2016; Msofe et al., 2019; Pontes et al., 2019). Такие нарушения приводят к увеличению разрушительной силы рек, их осушению, размыванию берегов и смене растительного состава. Исследования, посвященные прибрежным экосистемам, затрагивают различные аспекты, а также используют широкий спектр экологических моделей и функций в зависимости от климатических, морфологических условий и условий землепользования (Невидомов, 2004; Черненкокова, 2009; Ledesma, 2018; Dufour et al., 2019).

Детальное изучение изменений и состояния лесных насаждений в поймах рек методами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) может способствовать разработке более эффективных мер по сохранению и восстановлению таких ландшафтов.

Цель работы – провести анализ состояния вопроса по использованию ДЗЗ при оценках и мониторинге защитных лесных насаждений вдоль русел рек и других водоемов.

Для решения этой цели были поставлены следующие задачи:

- провести анализ подходов к исследованию прибрежных лесов с использованием спутниковых данных;
- рассмотреть методы тематического картирования для изучения состава и структуры наземного покрова территорий, граничащих с водоемами;
- исследовать методики оценки влияния различных факторов на пойменные экосистемы.

Объекты и методика исследований

Объектом исследования явились защитные лесные насаждения, произрастающие вдоль различных водоемов на территории разных стран. В работе были проанализированы существующие методики оценки и мониторинга состояния таких экосистем с использованием изображений ДЗЗ.

Результаты исследования

На сегодняшний день для мониторинга прибрежных лесов широко используются спутниковые снимки системы Landsat (Renó et al., 2016; Курбанов и др., 2014; Павлюк и др. 2017),

что объясняется доступностью данных снимков, а также возможностью оценивания с их помощью данных за несколько десятилетий. Для детального исследования и анализа валидации используются снимки высокого разрешения спутников RapidEye (Gärtner et al., 2016) и Quick Bird (Заплавнов, 2015; Воробьев, Курбанов, 2014). Однако с появлением системы Sentinel возможности оценки и анализа лесного покрова значительно увеличились (Родионова, 2017; Mleczko, Mróz, 2018; Воробьев и др., 2019а). Система этих спутников европейской программы Copernicus сочетает в себе широкий охват территории и высокое пространственное и временное разрешение.

Индексные изображения

Наземный покров на прибрежных территориях характеризуется чаще всего наличием таких основных элементов, как растительность, водоемы и объекты застройки. Для более точного картирования этих объектов исследователями используются несколько основных индексов: *вегетационные* (Полевщикова, 2016; Курбанов и др., 2016), *водные* (McFeeters, 1996; Xu, 2006), *застройки* (Козлов, 2006; Евдокимов, Михалап, 2015).

Существует большое число вегетационных индексов. Выбор того или иного вегетационного индекса обусловлен прежде всего разреженностью растительности, состоянием атмосферы, особенностями почвы и рельефом. Наиболее используемым вегетационным индексом является *нормализованный относительный индекс растительности* NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы. NDVI может быть получен на основе любых снимков высокого, среднего или низкого разрешения, имеющих спектральные каналы в красном и инфракрасном диапазоне (Mendez-Estrella et al., 2016; Taufik, Ahmad, 2016; Woodward et al., 2018). Основным его недостатком является, что NDVI не стоит применять, если растительность достаточно разрежена и составляет менее 30 % в структуре наземного покрова. В таких случаях обычно исследователями используется усовершенствованный вегетационный индекс EVI (Enhanced Vegetation Index). Особенностью вегетационного индекса EVI является чувствительность значений показателя к условиям окружающей среды, в которых произрастает растительность, что необходимо при оценке динамического ряда изменений в структуре полога (Воробьев и др., 2019б).

Прибрежная лесная растительность часто уничтожается в результате застройки набережных населенных пунктов. Поэтому ряд исследователей при анализе водоохранных зон применяют индексы застройки, в частности *нормализованный дифференциальный индекс застроенности земельных участков* NDBI (Normalized Difference Built-up Index), рассчитываемый с использованием коротковолнового инфракрасного канала SWIR и ближнего инфракрасного NIR (Козлова и др., 2018).

Сочетание данных индексов позволит наиболее точно выделить лесную растительность, водные объекты, объекты застройки.

Классификация изображений

Следующая группа исследований посвящена тематической классификации снимков, на основании которой можно будет судить о динамике изменения лесного покрова, уровне нарушенности и экологической устойчивости территории (Курбанов и др., 2015). Так, для анализа ландшафтных тенденций в прибрежных экосистемах Мексики (Mendez-Estrella et al., 2016) была применена управляемая классификация на основе дерева решений CART (Classification and Regression Tree). Для изучения динамики наземного покрова в бассейне реки Бинах за 1972-2013 гг. использовались методы объектно-ориентированной классификации в программном обеспечении ILMSimage (Badjana et al., 2015). При исследовании влияния фрагментации пойменных лесов Нижней Амазонки на биоразнообразие и экосистемные услуги для жителей прибрежных районов ученые также применяли методы объектно-

ориентированной управляемой классификации в программном обеспечении eCognition (Renó et al., 2016).

Для классификации наземного покрова долины реки Кланг (Малайзия) методом нейронных сетей на основе адаптивной нейро-нечеткой системы вывода (ANFIS – Adaptive neuro fuzzy inference system) был использован *нормализованный разностный индекс воды* (NDWI), *стандартизованный индекс различий застройки* (NDBI), *нормализованный разностный вегетационный индекс* (NDVI) (Taufik, Ahmad, 2016). Также для классификации спутниковых данных учеными применяются алгоритмы машинного обучения «случайный лес» (RF – random forest) (Картиев, Курейчик, 2016). Данный алгоритм был использован исследователями для выделения прибрежных коридоров и картирования прибрежной растительности в бассейне реки Колорадо, где в качестве экологических предикторов были выбраны спектральные полосы от Landsat 8 OLI / TIRS (красный, зеленый, синий, ближний инфракрасный, коротковолновый инфракрасный и тепловой диапазоны), NDVI, почвенный скорректированный индекс растительности SAVI, модифицированный нормализованный разностный индекс воды mNDWI, топографические параметры (уклон, высота), индексы Tasseled Cap (яркость, зеленость, влажность) (Woodward et al., 2018).

Некоторые исследователи используют оба метода классификации (гибридный подход). При разработке алгоритма автоматизированного картографирования состояния и динамики лесов Среднего Приангарья по цифровой модели рельефа (SRTM 90m) и данным мультиспектральной космической съемки (Landsat ETM+) в начале была проведена неуправляемая классификация (кластеризация) данных с использованием метода ISODATA, а затем сигнатуры, полученные в результате неё, использовали как обучающие выборки для выполнения управляемой классификации методом максимального правдоподобия (Данилова и др., 2010). Al-Fares (2013) для анализа изменений наземного покрова в бассейне реки Евфрат использовал неуправляемую классификацию ISODATA и различные методы управляемой классификации, такие как дерево решений, максимального правдоподобия (MLC – Maximum Likelihood Classifier, нейронных сетей (ANN – Artificial Neural Networks), опорных векторов (SVM – Support Vector Machine). В исследовании динамики наземного покрова в дельте Ганга, Бангладеш также была применена неуправляемая классификация на основе K-means и управляемая классификация MLC (Saifuzzaman, 2015). При картографировании водно-болотных угодий на Бебжинской пойме (Польша) с использованием данных SAR (Sentinel-1A и TanDEM-X) ученые применили неуправляемую классификацию ISODATA и управляемую классификацию SVM (Mleczko, Mróz, 2018).

Оценка изменений в растительном покрове

Существуют различные подходы к анализу влияния природных и антропогенных факторов на растительный покров (Усова, 2007; Гусев, Шпилевская, 2014; Xu et al., 2017; Lee, Abdullah, 2019). Основными оцениваемыми параметрами при этом являются изменение площади и конфигурации леса, степень фрагментации. Достаточно подробно они изучаются с точки зрения ландшафтного подхода (Черных и др., 2015; Walz, Syrbe, 2018; Zhang et al., 2018).

В таблице 2 представлены основные ландшафтные метрики, используемые российскими и зарубежными учеными для анализа ландшафтного разнообразия и структуры лесного покрова в бассейнах рек с применением данных ДЗЗ (Mhangara, Kakembo, 2012; Воробьев и др., 2015; Riedler et al., 2015; Sertel et al., 2018).

Расчет ландшафтных индексов позволят сделать вывод о структуре наземного покрова на исследуемой территории, проанализировать фрагментированность и устойчивость лесного покрова.

Российскими учеными разработаны концепция эколого-хозяйственного баланса территории (ЭХБ) и методические подходы для её оценки (Кочуров, 1999; Помазкова, Фалейчик, 2018). Данная методика позволяет оценить антропогенную нагрузку от сложившейся струк-

Таблица 2

Основные ландшафтные метрики

Метрика	Описание метрики
AREA	Средняя площадь ареала какого-либо типа землепользования в ландшафте
ED (Edge Density)	Отношение суммы длин границ ареалов землепользования в ландшафте к его общей площади
ENN (Euclidean Nearest Neighbor Distance Area-Weighted Mean)	Среднее значение расстояния до ближайшего ареала того же типа
IJI (Interspersion–juxta position index)	Степень пересечения патчей одного класса со всеми другими классами (этот индекс принимает значения от 0, когда класс найден только один, другой тип класса, смежный и увеличивается до 100, когда тип патча все больше перемежается с другими типами классов).
LPI (Largest Patch Index)	Удельная площадь самого большого ареала какого-либо типа землепользования
LSI (Landscape Shape Index) – метрика формы	Стандартизированное отношение суммы длин границ ареалов к квадратному корню из общей площади ландшафта
MNN (Mean Nearest-Neighbour)	Значение среднего расстояния до ближайшего соседа в метрах между участками одного класса (на уровне класса) или разных классов (на ландшафтном уровне)
MSI (Mean Shape Index)	Сумма периметра каждого участка, деленная на квадратный корень площади участка (га) для каждого класса (уровень класса) или всех участков (уровень ландшафта) и скорректированная на круговой стандарт (полигоны) или квадратный стандарт (сетки), деленная на количество патчей
MPS (Mean Patch Size)	Средний размер участка для каждого вида наземного покрова
MESH (Effective Mesh Size)	Отношение суммы квадратов площадей всех ареалов к общей площади ландшафта (имеет максимальное значение, когда ландшафт представлен одним ареалом)
NP /NUMP (Number of Patches)	Количество участков (патчей) соответствующего типа
PD (Patch Density)	Количество патчей соответствующего типа (класса) патчей на единицу площади
PLAND (Percentage of Landscape)	Процент определенного типа землепользования в ландшафте
PROX±MN /MPI (Mean Proximity Index)	Близость всех участков, края которых находятся в пределах заданного радиуса поиска фокального участка
SHDI (Shannon's Diversity Index) – индекс разнообразия Шеннона	Основан на формуле энтропии, учитывает однородность распределения типов наземных покровов
SIDI – (Simpson's diversity index) индекс разнообразия Симпсона	Используется в экологии для оценки биоразнообразия внутри экосистемы. В математическом анализе морфологии ландшафтов этот индекс может быть применён для оценки вероятности принадлежности к различным типам геосистем любых двух ландшафтных контуров, случайно отобранных из неопределённо большого их числа.
SHEI (Shannon's Evenness Index) – индекс равномерности Шеннона	Равномерность участков по наземному покрову на основе количества и распределения участков
SPLIT (Splitting Index)	Отношение площади ландшафта к сумме квадратов площадей всех ареалов
TE (Total Edge)	Сумма длин всех краевых сегментов в ландшафте

туры землепользования региона. Эколого-хозяйственный баланс (ЭХБ) – это сбалансированное соотношение различных видов деятельности и интересов различных групп населения на территории с учетом потенциальных и реальных возможностей экосистем, что обеспечивает воспроизводство природных ресурсов с наименьшими экологическими изменениями и последствиями (Кочуров, 1999). При оценке ЭХБ учитываются следующие характеристики:

- распределение земель по категориям и видам, площадь земель, степень антропогенной нагрузки;
- площадь природоохранных зон;
- напряженность эколого-хозяйственного состояния территории;
- интегральная антропогенная нагрузка;
- природная защищенность территории;
- экологический фонд территории.

Данная методика была использована в исследованиях различных территорий РФ с учетом особенностей той или иной местности (Абрамова, 2011; Минников, Куролап, 2013; Помазкова, Фалейчик, 2018). Оценка ЭХБ проводилась при этом с применением кадастровой информации об объектах исследуемых территорий. Однако данные ДЗЗ также позволяют оценить площади различных классов и выделить территории с различной степенью антропогенной нагрузки.

Заключение

Были проанализированы подходы к исследованию защитных лесных насаждений с использованием спутниковых данных. Состав и структура прибрежной растительности находится под влиянием различных факторов как природных, так и антропогенных. Пойма водного объекта является очень динамичной системой, что приводит к сложности оценки взаимосвязи между факторами окружающей среды и ее растительного покрова. Для детального мониторинга динамики растительного покрова в такой экосистеме желательно использовать спутниковые данные высокого разрешения и закладывать большое число тестовых участков.

Также рассмотрены методы тематического картографирования для изучения состава, структуры наземного покрова поймы и обнаружения изменений с целью выявления динамики определенных типов наземного покрова и степени его нарушения. Большинство исследователей сочетает несколько методов классификации с применением различных индексных изображений. Изучены методики оценки влияния факторов на пойменную экосистему и последствий выявленных тенденций. Широко применяются ландшафтные показатели при оценке фрагментации прибрежных лесов. Для оценки устойчивости территории в целом с учетом потенциальных и реальных возможностей экосистем российскими исследователями широко применяется методика ЭХБ. Таким образом, применение спутниковых данных открывает широкие возможности исследования водоохранных лесов, позволяя оценивать их площадь, структуру и динамику. Использование спутниковых данных Sentinel повышает эффективность мониторинга водоохранных лесов. Применение индексных изображений и сочетание нескольких методов классификации увеличивают точность тематического картографирования.

Расчет ландшафтных индексов позволяет делать выводы о структуре наземного покрова на исследуемой территории, анализировать фрагментированность и устойчивость лесного покрова. Методика эколого-хозяйственного баланса может служить для оценки уровня антропогенной нагрузки от сложившейся структуры землепользования региона, сбалансированности соотношения различных видов деятельности и интересов различных групп населения.

Библиографический список

1. Абрамова, Л.А. Эколого-хозяйственный баланс территории и ее естественная защищенность / Л.А. Абрамова, М.В. Юшков, М.М. Кузьмина // Вестник российских университетов. Математика. – 2011. – №2. – С.575-576.
2. Войтко, П.Ф. Использование лесов Республики Марий Эл для строительства и эксплуатации искусственных водных объектов / П.Ф. Войтко // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2009. – №3. – С.75-83.
3. Воробьев, О.Н. Алгоритм определения фенологических характеристик лесного покрова на основе временных рядов спутниковых данных / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, Е.Н. Демишева, С.А. Меньшиков, Л.Н. Смирнова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2019а. – № 1(41). – С. 5-20.
4. Воробьев, О.Н. Дистанционный мониторинг городских лесов / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева, О.В. Коптелов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1(25). – С. 5-21.
5. Воробьев, О.Н. Дистанционный мониторинг устойчивости лесных экосистем: монография / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, Е.Н. Демишева, С.А. Меньшиков, М.С. Али, Л.Н. Смирнова, Л.В. Тарасова. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2019б. – 166 с.
6. Воробьев, О.Н. Опыт применения снимков RapidEye для оценки недропользования в Республике Марий Эл / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов // Геоматика. – Москва: «Совзонд». – 2014. – № 1. – С. 80-86.
7. Гусев, А. П. Динамика структуры ландшафтного покрова и современное состояние лесных экосистем / А.П. Гусев, Н.С. Шпилевская // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – № 2. – С. 114 - 118.
8. Евдокимов, С.И. Определение физического смысла комбинации каналов снимков Landsat для мониторинга состояния наземных и водных экосистем / С.И. Евдокимов, С.Г. Михалап // Вестник Псковского государственного университета. Сер.: Естественные и физико-математические науки. – 2015. – №7. – С.21-32.
9. Заплавнов, Д. М. Геоинформационное картографирование защитных лесов Волго-Ахтубинской поймы: на примере Черноярского района Астраханской области: автореф. дис... канд. с.-х. наук / Д.М. Заплавнов. – Волгоград, 2015. – 20 с.
10. Картиев, С.Б. Алгоритм классификации, основанный на принципах случайного леса, для решения задачи прогнозирования / С.Б. Картиев, В.М. Курейчик // Программные продукты и системы. – 2016. – №2 (114). – С.11-15.
11. Козлов, Д.Н. Инвентаризация ландшафтного покрова методами пространственного анализа для целей ландшафтного планирования / Д.Н. Козлов // Ландшафтное планирование: общие основания, методология, технология: труды Международной школы-конференции «Ландшафтное планирование». – Москва, 2006. – С.117-137.
12. Козлова, М.В. Использование данных дистанционного зондирования Земли для изучения тундровых фитоценозов на примере водоохранных зон рек Ненецкого автономного округа / М.В. Козлова, Г.Ш. Турсунова, О.В. Горелик, И.В. Землянов и др. // Экосистемы: экология и динамика. – 2018. – №1. – С. 92-111.
13. Кочуров Б. И. Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории / Б. И. Кочуров. – Смоленск: Смоленский государственный университет, 1999. – 154 с.
14. Курбанов, Э.А. Оценка точности и сопоставимости тематических карт лесного покрова разного пространственного разрешения на примере Среднего Поволжья / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т. 13, № 1. – С. 36-48.
15. Курбанов, Э.А. Тематическое картирование растительного покрова по спутниковым снимкам: валидация и оценка точности: монография / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Лежнин, А.В. Губаев, Ю.А. Полевщикова. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – 131 с.
16. Курбанов, Э.А. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 1(21). – С. 18-32.
17. Макеева, Е.Д. Исторические истоки современных экологических проблем Среднего Поволжья / Е.Д. Макеева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т.18, №6. – С.93-99.
18. Минников, И.В. Оценка эколого-хозяйственного баланса территории Воронежской области / И.В. Минников, С.А. Куролап // Вестник ВГУ, Сер.: География. Геоэкология. – 2013. – № 1. – С.129-136.
19. Невидомов, А.М. Пойменное лесоводство – новый вид зонально-географических систем ведения лесного хозяйства / А.М. Невидомов // Известия ВУЗов. – Лесной журнал. – 2004. – №1. – С. 7-14.
20. Павлюк, Я.В. Фрагментация лесов верхней части бассейна реки Ворскла с конца XVIII века / Я.В. Павлюк, Э.А. Терехин, П.А. Украинский // Вестник Московского университета. Сер.: География. – 2017. – № 1. – С. 82-91.
21. Полевщикова, Ю. А. Пространственно-временной анализ динамики лесного покрова в Среднем Поволжье по спутниковым данным: автореф. дис... канд. с.-х. наук / Ю.А. Полевщикова. – Йошкар-Ола, 2016. – 22 с.
22. Помазкова, Н.В. Оценка эколого-хозяйственного баланса территории Забайкальского края / Н.В. Помазкова, Л.М. Фалейчик // Вестник ВГУ, Сер.: География. Геоэкология. – 2018. – № 2. – С.5-15.
23. Родионова, Н.В. Анализ изображений Sentinel 1 для весеннего паводка в Алтайском крае в апреле 2015 года и Рязанской области в апреле 2016 года / Н.В. Родионова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14, № 1. – С. 136-146.

24. Усова, И.П. Оценка фрагментации лесов с использованием ландшафтных индексов (на примере восточно-белорусской ландшафтной провинции) / И.П. Усова // Актуальные проблемы геоботаники: материалы III Всероссийской школы-конференции. II часть. – Петрозаводск, 2007. – С. 250–253.
25. Черненко, Т. В. Оценка биоразнообразия лесов наземными и дистанционными методами на основе ГИС-технологий / Т. В. Черненко // Биосфера. – 2009. – №1. – С.93-100.
26. Черных, Д.В. Пространственно-временная динамика структуры ландшафтов в бассейне р. Касмала (Алтайский край) / Д.В. Черных, Р.Ю. Бирюков, Д.В. Золотов, Д.К. Першин и др. // Вестник алтайской науки. – 2015. – № 1. – С. 264 - 269.
27. Al-Fares, W. Historical Land use/ Land cover classification using Remote Sensing. Springer Briefs in Geography / W. Al-Fares. – Jena, 2013. – 204 p.
28. Badjana, H.M. Land cover changes assessment using object-based image analysis in the Binah River watershed (Togo and Benin) / H.M. Badjana, J. Helmschrot, P. Selsam, K. Wala, W.A. Flügel, A. Afouda et al. // Earth and Space Science. – 2015. – No. 2. – P.403–416.
29. Congalton, R.G. Evaluating remotely sensed techniques for mapping riparian vegetation / R. G. Congalton, K. Birch, J. Schriever // Computers and Electronics in Agriculture. – 2002. – Vol. 37. – P.113-126.
30. Dufour, S. Tracing the scientific trajectory of riparian vegetation studies: Main topics, approaches and needs in a globally changing world / S. Dufour, P.M. Rodríguez-González, M. Laslier // Science of The Total Environment. – Vol. 653. – 2019. – P.1168-1185.
31. Gärtner, P. The benefit of synthetically generated RapidEye and Landsat 8 data fusion time series for riparian forest disturbance monitoring / P. Gärtner, M. Förster, B. Kleinschmit // Remote Sensing of Environment. – 2016. – Vol. 177. – P.237-247.
32. Gilbert, J.T. The Valley Bottom Extraction Tool (V-BET): A GIS tool for delineating valley bottoms across entire drainage networks / J.T. Gilbert, W.W. Macfarlane, J.M. Wheaton // Computers & Geosciences. – 2016. – Vol. 97. – P.1-14.
33. Ledesma, J.L.J. Towards an improved conceptualization of riparian zones in boreal forest headwaters / J.L.J. Ledesma M.N. Futter, M. Blackburn, F. Lidman, T. Grabs, R.A. Sponseller et al. // Ecosystems. – 2018. – Vol. 21, No. 2. – P. 297-315.
34. Lee, W.H. Framework to develop a consolidated index model to evaluate the conservation effectiveness of protected areas / W.H. Lee, S.A. Abdullah // Ecological Indicators. – 2019. – Vol. 102. – P. 131-144.
35. McFeeters, S.K. The use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features / S. K. McFeeters // International Journal of Remote Sensing. – 1996. – No. 17. – P. 1425-1432.
36. Mendez-Estrella, R. Analyzing Landscape Trends on Agriculture, Introduced Exotic Grasslands and Riparian Ecosystems in Arid Regions of Mexico / R. Mendez-Estrella, J.R. Romo-Leon, A.E. Castellanos, F.J. Gandarilla-Aizpuro, K. Hartfieldet // Remote Sensing. – 2016. – Vol.8. – No. 8: 664. – P.1-19.
37. Mhangara, P. An object-based classification and fragmentation analysis of land use and cover change in the Keiskamma Catchment, Eastern Cape, South Africa / P. Mhangara, V. Kakembo // World Applied Sciences Journal. – 2012. – No. 19 (7). – P.1018-1029.
38. Mleczko, M. Wetland mapping using SAR data from the Sentinel-1A and TanDEM-X missions: a comparative study in the Biebrza Floodplain (Poland) / M. Mleczko, M. Mróz // Remote Sensing. – 2018. – Vol. 10, No. 1:78. – P.1-19.
39. Msofe N.K. Land use change trends and their driving forces in the Kilombero Valley Floodplain, Southeastern Tanzania / N.K Msofe, L. Sheng, J. Lyimo // Sustainability. – 2019. – Vol. 11. – No. 2: 505. – P. 1-25.
40. Pontes, P.R.M. The role of protected and deforested areas in the hydrological processes of Itacaiúnas River Basin, eastern Amazonia / P.R.M. Pontes, R.B.L. Cavalcante, P.K. Sahoo, R.O. da Silva Júnior, M.S. da Silva, R. Dall'Agnol et al. // Journal of Environmental Management. – 2019. – Vol. 235. – P.489-499.
41. Riedler, B. A composite indicator for assessing habitat quality of riparian forests derived from Earth observation data / B. Riedler, L. Pernkopf, T. Strasser, S. Lang, G. Smith // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2015. –Vol.37. – P. 114-123.
42. Renó, V. Forest Fragmentation in the Lower Amazon Floodplain: Implications for Biodiversity and Ecosystem Service Provision to Riverine Populations / V. Renó, E. Novo, M. Escada // Remote sensing. – 2016. Vol. 8: 886, No. 11. – P. 1-26.
43. Saifuzzaman, Md. Land use and land cover dynamics in the Ganges delta region, Bangladesh / Md. Saifuzzaman // Thesis, Queen's University Kingston, Ontario, – 2015. – 150 p.
44. Sertel, E. Comparison of Landscape Metrics for Three Different Level Land Cover/Land Use Maps / E. Sertel, R.H. Topaloğlu, B. Şallı, I.Y. Algan, G.A. Aksu // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2018. – Vol. 7. – No. 10: 408. – P.1-21.
45. Taufik, A. Land cover classification of Landsat 8 satellite data based on Fuzzy Logic approach / A. Taufik, S.S. Syed Ahmad // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – Kuala Lumpur, 2016. – Vol. 37, No. 1. – P. 1-7.
46. Walz, U. Landscape indicators – Monitoring of biodiversity and ecosystem services at landscape level / U. Walz, R.U. Syrbe // Ecological Indicators. – 2018. – Vol. 94, No. 2 – P.1-5.
47. Weissteiner, C.J. Europe's Green Arteries—A Continental Dataset of Riparian Zones / C.J. Weissteiner, M. Ickertott, H. Ott, M. Probeck, G. Ramming, N. Clerici et al. // Remote Sensing. – 2016. – Vol. 8, No. 11. – P.1-27.
48. Woodward, B.D. CO-RIP: A riparian vegetation and corridor extent dataset for Colorado river basin streams and rivers / B.D. Woodward, P.H. Evangelista, N.E. Young, A.G. Vorster, A.M. West, S.L. Carroll et al. // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2018. – Vol. 7, No. 10: 397. – P.1-19.

49. Xu, F. Analysis of land-cover change (1963 – 2010) and environmental factors in the Upper Danube Floodplain / F. Xu, A. Otte, K. Ludewig, T.W. Donath, S. Harvolk-Schöning et al. // Sustainability. – 2017. – Vol. 9: 943, No. 6. – P. 1–37.
50. Xu, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery /H. Xu // International Journal of Remote Sensing. – 2006. – No. 27. – P. 3025–3033.
51. Zhang, X. Correlation Analysis between Landscape Metrics and Water Quality under Multiple Scales / X. Zhang, Y. Liu, L. Zhou // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2018. – Vol. 15, No. 8: 1606. – P.1-14.

References

1. Abramova L.A., Yushkov M.V., Kuz'mina M.M. Ekologo,khozyaistvennyi balans territorii i ee estestvennaya zashchishchennost' [Environmental and economic balance of the territory and its natural security], *Vestnik Rossiiskikh Universitetov, Matematika* [Bulletin of Russian Universities, Mathematics], 2011, No.2, pp. 575-576.
2. Vojtko P.F. Ispol'zovanie lesov Respubliki Marij Jel dlja stroitel'stva i jekspluatacii iskusstvennyh vodnyh ob'ektov [Use of Mari El Republic forests for building and exploitation of artificial water objects], *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. EHkologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Ser.: Forest. Ecology. Nature management], 2009, No.3, pp.75-83.
3. Vorob'ev O.N., Kurbanov E.A., Demisheva E.N., Men'shikov S.A., Smirnova L.N. Algoritm opredelenija fenologicheskikh harakteristik lesnogo pokrova na osnove vremennyh rjadov sputnikovyh dannyh [Algorithm for reviling the phenological parameters of forest cover on the base of time series of satellite data], *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta, Les. Jekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Ser.: Forest. Ecology. Nature management], 2019a, No. 1(41), pp. 5-20.
4. Vorob'ev O.N., Kurbanov E.A., Gubaev A.V., Polevshhikova Ju.A., Demisheva E.N., Koptelov O.V. Distancionnyj monitoring gorodskih lesov [Remote monitoring of urban forests], *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. EHkologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Ser.: Forest. Ecology. Nature management], 2015, No. 1(25), pp. 5-21.
5. Vorob'ev O.N., Kurbanov E.A., Demisheva E.N., Men'shikov S.A., Ali M.S., Smirnova L.N., Tarasova L.V. Distancionnyj monitoring ustojchivosti lesnyh jekosistem [Remote monitoring of forest ecosystems sustainability], Yoshkar-Ola: Volga State University of Technology, 2019b, 166 p.
6. Vorob'ev O.N., Kurbanov E.A. Opyt primenenija snimkov RapidEye dlja ocenki nedropol'zovanija v Respublike Marij Jel [The experience of implementing RapidEye imagery for estimating subsoil in the Republic of Mari El], *Geomatika*, Moscow "Sovzond", No.1, 2014, pp. 80-86.
7. Gusev A. P., Shpilevskaya N.S. Dinamika struktury landshaftnogo pokrova i sovremennoe sostoyanie lesnykh ekosistem [Dynamics of structure of a landscape cover and contemporary state of wood ecosystems], *Geopolitika i ekogeodinamika regionov* [Geopolitics and ecogeodynamics of regions], 2014, No. 2, pp. 114-118.
8. Evdokimov S.I., Mikhilap S.G. Opredelenie fizicheskogo smysla kombinatsii kanalov snimkov Landsat dlja monitoringa sostoyaniya nazemnykh i vodnykh ekosistem [Determination of physical meaning of band combinations of Landsat images for monitoring terrestrial and aquatic ecosystems], *Vestnik Pskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Estestvennye i fiziko,matematicheskie nauki* [Bulletin of the Pskov State University. Ser.: Natural and physical, mathematical sciences], 2015, No.7, pp.21-32.
9. Zaplavinov D. M. Geoinformacionnoe kartografirovanie zashhitnyh lesov Volgo-Ahtubinskoj pojmy: na primere Chernojarskogo rajona Astrahanskoj oblasti: avtoref. dis... kand. s.,kh. nauk [Geoinformation mapping of protective forests of the Volga-Akhtuba floodplain: the example of the Chernoyarsk district of the Astrakhan region. *Cand. agri. sci. thesis*], Volgograd, 2015, 20 p.
10. Kartie S.B., Kureichik V.M. Algoritm klassifikatsii, osnovannyi na printsipakh sluchainogo lesa, dlja resheniya zadachi prognozirovaniya [Classification algorithm based on random forest principles for a forecasting problem], *Programmye produkty i sistemy* [Software Products and Systems], 2016, No.2 (114), pp. 11-15.
11. Kozlov D.N. Inventarizatsiya landshaftnogo pokrova metodami prostranstvennogo analiza dlja tselei landshaftnogo planirovaniya [Landscape cover inventory by spatial analysis for landscape planning], *Landshaftnoe planirovanie: obshchie osnovaniya, metodologiya, tekhnologiya* [Landscape Planning: General Foundations, Methodology, Technology], Moskva, 2006, pp. 117-137.
12. Kozlova M.V. i dr. Ispol'zovanie dannyh distancionnogo zondirovaniya Zemli dlja izuchenija tundrovyyh fitocenofov na primere vodoohrannyh zon rek Neneckogo avtonomnogo okruga [The use of remote sensing data for studying tundra phytocenoses the example of water-protection zones of rivers Nenets Autonomous District], *Jekosistemy: jekologiya i dinamika* [Ecosystems: ecology and dynamics], 2018, No.1, pp. 92-111.
13. Kochurov B. I. Geoeкологиya: ekodiagnostika i ekologo,khozyaistvennyi balans territorii [Geoecology: ecological diagnostics and ecological and economic balance of the territory], Smolensk, Smolensk State University, 1999, 154 p.
14. Kurbanov E.A., Vorob'ev O.N., Gubaev A.V., Lezhnin S.A., Polevshhikova Ju.A. Ocenka tochnosti i sopostavimosti tematiceskikh kart lesnogo pokrova raznogo prostranstvennogo razresheniya na primere Srednego Povolzh'ja [Assessment of accuracy and comparability of forest cover thematic maps of different spatial resolution by example of Middle Povolzhje], *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2016, Vol. 13, No.1, pp. 36-48.
15. Kurbanov E.A., Vorob'ev O.N., Lezhnin S.A., Gubaev A.V., Polevshhikova Ju.A. Tematicheskoe kartirovanie rastitel'nogo pokrova po sputnikovym snimkam: validacija i ocenka tochnosti [Thematic mapping of vegetation by

- satellite imagery: validation and accuracy assessment], Yoshkar-Ola, Volga State University of Technology, 2015, 131 p.
16. Kurbanov E.A., Vorob'ev O.N., Gubaev A.V., Lezhnin S.A., Polevshhikova Ju.A., Demisheva E.N. Chetyre desjatiletija issledovanij lesov po snimkam Landsat [Four decades of forest research with the use of Landsat images], *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta, Ser.: Les. Jekologija. Prirodopol'zovani* [Bulletin of the Volga State Technological University, Ser.: Forest. Ecology. Natural resources], 2014, No. 1(21), pp. 18-32.
 17. Makeeva E.D. Istoricheskie istoki sovremennyh jekologicheskikh problem Srednego Povolzh'ja [The historical origins of the contemporary ecological problems of Middle Volga region], *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk* [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2016, Vol.18, No.6, pp. 93-99.
 18. Minnikov I.V., Kurolap S.A. Otsenka ekologo,khozyaistvennogo balansa territorii Voronezhskoi oblasti [Assessment of ecological and economic balance in the voronezh oblast], *Vestnik VGU, Ser.: Geografiya. Geoekologiya* [Bulletin of Voronezh State University, Series Geography Geoecology], 2013, No. 1, pp. 129-136.
 19. Nevidomov A.M. Poimennoe lesovodstvo – novyi vid zonal'no,geograficheskikh sistem vedeniya lesnogo khozyaistva [Floodplain Silviculture - New Type of Zonal-geographical Systems of Forest Management], *Lesnoi zhurnal* [Forest magazine], 2004, No.1, pp. 7-14.
 20. Pavlyuk Ya.V., Terekhin E.A., Ukrainskii P.A. Fragmentatsiya lesov verkhnei chasti basseina reki Vorskla s kontsa XVIII veka [Fragmentation of forests in the upper part of the Vorskla River basin since the end of the 18th century], *Vestnik moskovskogo universiteta, Ser.: Geografiya* [Bulletin of Moscow University, Ser.: Geography], 2017, No. 1, pp. 82-91.
 21. Polevshchikova Yu. A. Prostranstvenno,vremennoi analiz dinamiki lesnogo pokrova v Srednem Povolzh'e po sputnikovym dannym: avtoref. dis... kand. s.,kh. nauk [Space-time analysis of the dynamics of forest cover in the Middle Volga region using satellite data, *Cand. agri. sci. thesis*], Yoshkar-Ola, 2016, 22 p.
 22. Pomazkova N.V., Faleichik L.M. Otsenka ekologo,khozyaistvennogo balansa territorii Zabaikal'skogo kraja [Assessment of the ecological and economic balance of the Trans-Baikal region area], *Vestnik VGU, Ser.: Geografiya. Geoekologiya* [Bulletin of Moscow University, Ser.: Geography], 2018, No. 2, pp. 5-15.
 23. Rodionova N.V. Analiz izobrazhenij Sentinel 1 dlja vesennego pavodka v Altajskom krae v aprele 2015 goda i Rjazanskoj oblasti v aprele 2016 goda [Image analysis of Sentinel 1 for flood detection in Altai Region in April 2015 and Ryazan Region in April 2016], *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2017, Vol. 14, No. 1, pp. 136-146.
 24. Usova I.P. Otsenka fragmentatsii lesov s ispol'zovaniem landshaftnykh indeksov (na primere vostochno,beloruskoi landshaftnoi provintsii) [Assessment of forest fragmentation using landscape indices (on the example of the East Belarusian landscape province)], *Proc. 3rd All-Russian Conference "Aktual'nye problemy geobotaniki"* [Proc. 3rd All-Russian Conference "Actual problems of geobotany"], Petrozavodsk, 2007, pp. 250-253.
 25. Chernen'kova T. V. Otsenka bioraznoobraziya lesov nazemnymi i distantsionnymi metodami na osnove GIS-tekhnologii [Assessment of forest biodiversity by field and remote methods based on GIS technologies], *Biosfera* [Biosphere], 2009, No.1, pp. 93-100.
 26. Chernyh D.V., Ju R., Birjukov A.K., Zolotov D.V., Pershin D.K. i dr. Prostranstvenno,vremennaya dinamika struktury landshaftov v basseine r. Kasmala (Altaiskii kraj) [Spatio-temporal dynamics of landscape structure in the Kasmalariver basin (Altai Krai)], *Vestnik altaiskoi nauki* [Bulletin of Altai science], 2015, No. 1, pp. 264-269.
 27. Al-Fares,W. Historical Land use/ Land Cover Classification Using Remote Sensing, *Springer Briefs in Geography*, Jena, 2013, 204 p.
 28. Badjana H.M., Helmschrot J., Selsam P., Wala K., Flügel W.A., Afouda A. et al. Land cover changes assessment using object-based image analysis in the Binah River watershed (Togo and Benin), *Earth and Space Science*, 2015, No. 2, pp. 403–416.
 29. Congalton R.G., Birch K., Schriever J. Evaluating remotely sensed techniques for mapping riparian vegetation, *Computers and Electronics in Agriculture*, 2002, Vol. 37, pp. 113–126.
 30. Dufour S., Rodríguez-González P.M., Laslier M. Tracing the scientific trajectory of riparian vegetation studies: Main topics, approaches and needs in a globally changing world, *Science of The Total Environment*, Vol.653, 2019, pp. 1168-1185.
 31. Gärtner P., Förster M., Kleinschmit B. The benefit of synthetically generated RapidEye and Landsat 8 data fusion time series for riparian forest disturbance monitoring, *Remote Sensing of Environment*, 2016,Vol. 177, pp. 237-247.
 32. Gilbert J.T., Macfarlane W.W., Wheaton J.M. The Valley Bottom Extraction Tool (V-BET): A GIS tool for delineating valley bottoms across entire drainage networks, *Computers & Geosciences*, 2016, Vol.97, pp. 1-14.
 33. Ledesma J.L.J., Futter M.N., Blackburn M., Lidman F., Grabs T., Sponseller R.A. et al. Towards an Improved Conceptualization of Riparian Zones in Boreal Forest Headwaters, *Ecosystems*, 2018, Vol. 21, No. 2, pp. 297-315.
 34. Lee W. H., Abdullah S. A. Framework to develop a consolidated index model to evaluate the conservation effectiveness of protected areas, *Ecological Indicators*, 2019,Vol. 102, pp. 131-144.
 35. McFeeters, S. K. The use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, 1996, No.17, pp. 1425--1432.
 36. Mendez-Estrella R., Romo-Leon J.R., Castellanos A.E., Gandarilla-Aizpuro F.J., Hartfieldet K. Analyzing Landscape Trends on Agriculture, Introduced Exotic Grasslands and Riparian Ecosystems in Arid Regions of Mexico, *Remote Sensing*, 2016, Vol.8, No. 8: 664, pp. 1-19.
 37. Mhangara P., Kakembo V. An Object-Based Classification and Fragmentation Analysis of Land Use and Cover Change in the Keiskamma Catchment, Eastern Cape, South Africa, *World Applied Sciences Journal*, 2012, No. 19 (7), pp. 1018-1029.

38. Mleczko M., Mróz M. Wetland Mapping Using SAR Data from the Sentinel-1A and TanDEM-X Missions: A Comparative Study in the Biebrza Floodplain (Poland), *Remote Sensing*, 2018, Vol. 10, No.1:78, pp. 1-19.
39. Msofe N. K. J., Sheng L., Lyimo J. Land Use Change Trends and Their Driving Forces in the Kilombero Valley Floodplain, Southeastern Tanzania, *Sustainability*, 2019, Vol. 11, No.2: 505, pp. 1-25.
40. Pontes P.R.M., Cavalcante R.B.L., Sahoo P.K., da Silva Júnior R.O., da Silva M.S., Dall'Agnol R. et al. The role of protected and deforested areas in the hydrological processes of Itacaiúnas River Basin, eastern Amazonia, *Journal of Environmental Management*, 2019, Vol. 235, pp. 489-499.
41. Riedler B., Pernkopf L., Strasser T., Lang S., Smith G. A composite indicator for assessing habitat quality of riparian forests derived from Earth observation data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2015, Vol.37, pp. 114-123.
42. Renó V., Novo E., Escada M. Forest Fragmentation in the Lower Amazon Floodplain: Implications for Biodiversity and Ecosystem Service Provision to Riverine Populations, *Remote sensing*, 2016, Vol. 8: 886, No. 11, pp. 1–26.
43. Saifuzzaman Md. Land use and land cover dynamics in the Ganges delta region, Bangladesh, *Thesis*, Queen's University Kingston, Ontario, 2015, 150 p.
44. Sertel E., Topaloğlu H., Şallı B., Algan I.Y., Aksu G.A. Comparison of Landscape Metrics for Three Different Level Land Cover/Land Use Maps, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2018, Vol. 7, №10: 408, pp. 1-21.
45. Walz U., Syrbe R.-U. Landscape indicators – Monitoring of biodiversity and ecosystem services at landscape level, *Ecological Indicators*, 2018, Vol. 94, No.2, pp. 1-5.
46. Weissteiner C.J., Ickerott M., Ott H., Probeck M., Ramminger G., Clerici N. et al. Europe's Green Arteries—A Continental Dataset of Riparian Zones, *Remote Sensing*, 2016, Vol. 8, No.11, pp. 1-27.
47. Woodward B.D., Evangelista P.H., Young N.E., Vorster A.G., West A.M., Carroll S.L. et al. CO-RIP: A riparian vegetation and corridor extent dataset for Colorado river basin streams and rivers, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2018, Vol. 7, №10: 397, pp. 1-19.
48. Xu F., Otte A., Ludewig K., Donath T.W., Harvolk-Schöning S. et al. Analysis of land-cover change (1963 – 2010) and environmental factors in the Upper Danube Floodplain, *Sustainability*, 2017, Vol. 9: 943, No. 6, pp. 1–37.
49. Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 2006, No. 27, pp. 3025--3033.
50. Zhang X., Liu Y., Zhou L. Correlation Analysis between Landscape Metrics and Water Quality under Multiple Scales, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, Vol. 15, No.8: 1606, pp. 1-14.