

УДК 528.852.3, 528.854.2

## ПОДГОТОВКА ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА НА ТЕРРИТОРИЮ ПФО ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ БАСЕЙНОВЫХ ГЕОСИСТЕМ

Иванов М.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, Россия (420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18), e-mail: maximko-87@mail.ru

---

В работе представлена технологическая схема подготовки цифровой матрицы высот на территорию Приволжского федерального округа на основе свободно распространяемых цифровых моделей рельефа. Особое внимание уделено обработке ЦМР Aster GDEM v.3, которая содержит большое количество артефактов и пропусков данных. В работе разработан и реализован метод выделения участков ЦМР, содержащих аномальные значения с помощью системы объектно ориентированного анализа изображений. Для восстановления пропусков данных использован современный метод многоуровневой аппроксимации с использованием базисных сплайнов, который, в отличие от традиционных методов, наиболее подходит для обработки большого количества исходных данных. Результатом работы стала цифровая матрица высот с шагом сетки 100 м, построенная на основе данных Aster GDEM и SRTM и подготовленная для автоматизированного выделения границ бассейновых геосистем.

---

Ключевые слова: ЦМР, ПФО, Aster GDEM v.2, артефакты, объектно ориентированный анализ изображений, B-сплайны.

## PREPARING OF DIGITAL ELEVATION MODEL OF THE VOLGA FEDERAL DISTRICT TERRITORY FOR AUTOMATED ALLOCATION OF BASIN GEOSYSTEMS BOUNDARIES

Ivanov M.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazan Federal University, Kazan, Russia (420008, Kazan, Kremlyovskaya str., 18), e-mail: maximko-87@mail.ru

---

The paper presents a flow chart of the preparing of a digital elevation matrix of the Volga Federal District territory, based on freely available digital elevation models. Particular attention is paid to processing DEM Aster GDEM v.3, which contains a large number of artifacts and data gaps. During research developed and realized method for isolating DEM areas containing anomalous values using the system of object-oriented image analysis. To restore the data gaps used a modern method of multilevel approximation using basis spline, which, unlike conventional methods, is most suitable for processing large amounts of data. The result is a digital DEM with grid spacing of 100 m, based on data from Aster GDEM and SRTM, and prepared for automated allocation of basin geosystems boundaries.

---

Keywords: DEM, Volga Federal District, Aster GDEM v.2, artifacts, object-oriented image analysis, B-splines.

### Введение

Цифровые модели рельефа (ЦМР), в основе которых лежат регулярные координатные сетки, в настоящее время широко используются специалистами, работающими в самых разных направлениях географии и геоморфологии [4].

Одной из таких задач, которую можно решать с использованием географических информационных систем (ГИС) и ЦМР, является выделение границ водосборов (постоянных и временных водотоков). Важность ее решения определяется многообразием научных и прикладных задач, решаемых с помощью бассейнового подхода, где в качестве операционно-территориальные единицы (ОТЕ), разумеется, выступает бассейновая геосистема [2; 5; 6].

Исследуемая территория Приволжского федерального округа имеет площадь около 1034000 кв.км и покрывается более чем 340 листами топографических карт масштаба 1: 200 000, в связи с чем выделение границ водосборных бассейнов вручную становится очень трудоемким и долгим процессом. Поэтому для создания пространственной базы данных водосборных бассейнов целесообразно использовать алгоритмы автоматизированного выделения их границ на основании цифровой матрицы высот.

**Цель:** построение сетки водосборных бассейнов на территорию ПФО с использованием цифровой матрицы высот.

**Задачи:**

- подбор исходных материалов;
- устранение артефактов и аномальных значений на ЦМР ASTER GDEM;
- формирование единой сетки высот с шагом 100 м;
- восстановление пропущенных данных.

### **Материал и методы исследования**

Существует множество национальных и глобальных цифровых моделей рельефа.

Для регионального уровня генерализации наиболее подходящей является ЦМР SRTM с разрешением 3 угловые секунды, однако она не покрывает территорию севернее 60 с.ш. Для этой территории было решено использовать модель ASTER GDEM v.2. с разрешением 1 угловая секунда.

Для создания сетки, покрывающей всю территорию ПФО, было использовано 11 сцен (мозаик) SRTM размером 5°x5° (6000x6000 пикселей) каждая, и 35 сцен ASTER GDEM размером 1°x1° (3601x3601 пикселей) каждая. Все исходные данные в географической системе координат на эллипсоиде WGS84.

Поскольку модель ASTER GDEM создавалась на основе данных сенсора Aster, имеющего возможность стереоскопической съемки в ближнем инфракрасном диапазоне, она имеет пропуски данных - изначально замененные аномальные значения высот на территории Евразии выше 60 с.ш. на значение -9999, а также «положительные» и «отрицательные» артефакты. По результатам сопоставления ASTER GDEM со снимками Landsat 5 TM большинство «положительных» артефактов (пиков) приурочено к водным поверхностям: озерам и крупным рекам, а большинство «отрицательных» (ям) - к линейным объектам (дороги, границы вырубок и т.д.) (рис. 1). Наличие таких артефактов делает процедуру автоматизированного выделения границ водосборных бассейнов практически невозможной.

Также, несмотря на то что разрешение продукта составляет 1 угловую секунду (30 м в плане), минимальный размер идентифицируемого элемента топографии составляет 100-120 метров [1].

Таким образом, первоочередной задачей стало устранение артефактов с ЦМР ASTER GDEM.

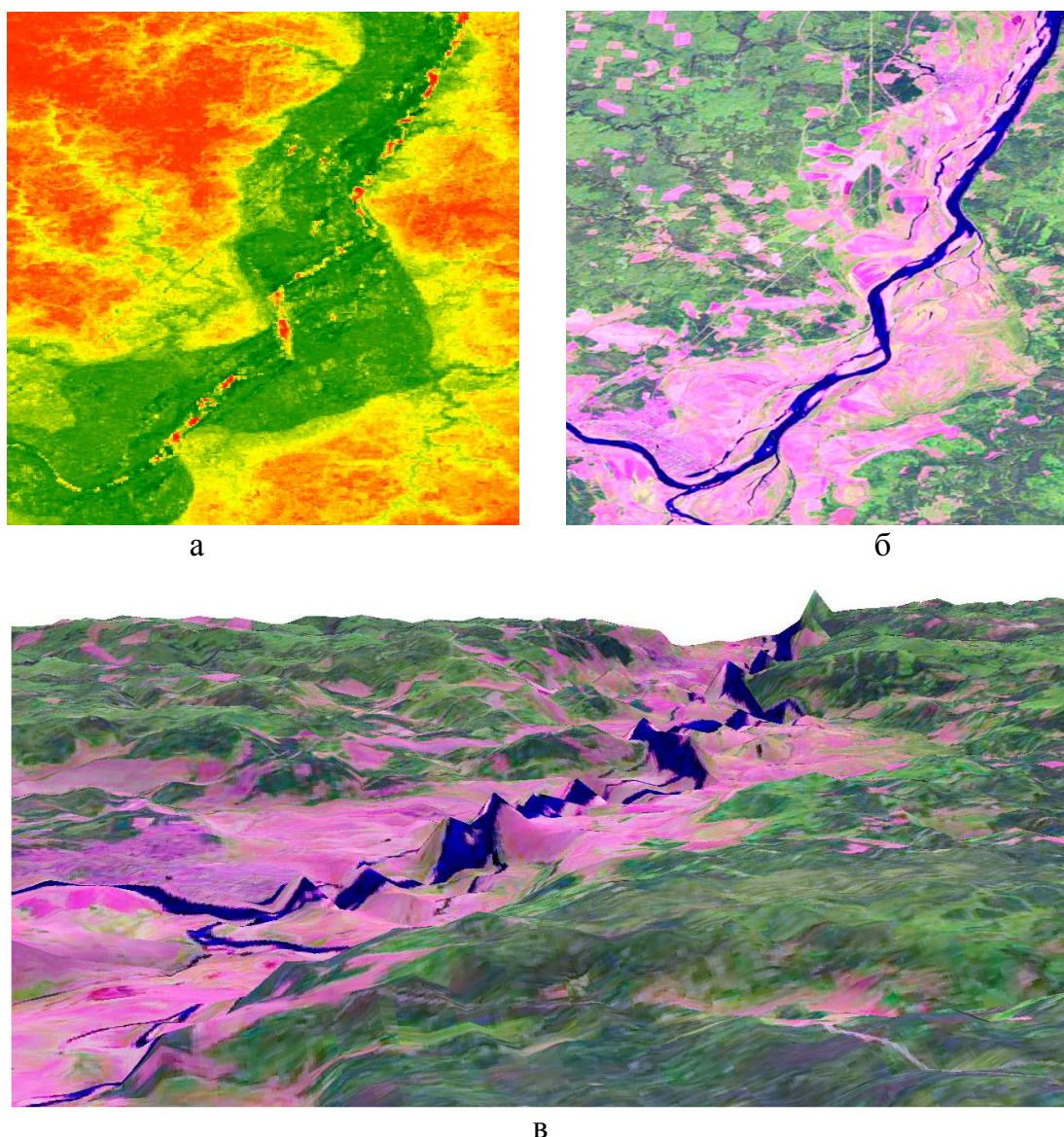


Рис. 1. Сопоставление данных ASTER GDEM с космическими снимками: а - фрагмент ЦМР ASTER; б - фрагмент снимка Landsat 5; в - 3D-модель, построенная на основе ЦМР и космоснимка.

Для выделения и удаления наиболее выраженных артефактов использовалась система объектно ориентированной обработки изображений Definiens eCognition. Методика объектно ориентированного дешифрирования подразумевает первоначальное выделение на изображении объектов (сегментов) областей относительной однородности и их дальнейшую классификацию по традиционным спектрально-яркостным признакам и по признакам геометрическим (форма, площадь, ориентация и др.), контекстным (вхождение в более крупные объекты или области, близость к объектам определенного класса и др.) и текстурным.

Первоначально была проведена сегментация с переменным разрешением (Multiresolution segmentation). Сегментация проводится путем слияния областей, начиная с объектов размером в один пиксель. Шаг за шагом мелкие объекты объединяются в более крупные [8].

Поскольку при выполнении сегментации задается определенный размер сегментов, то неоднородные области также объединяются в более крупные сегменты. Поэтому сегменты, содержащие аномалии, будут иметь большой разброс значений высот. Таким образом, основным признаком для выделения таких сегментов могут выступать высокие значения дисперсии или стандартного отклонения, которые определяются экспертно.

Процедура идентификации аномальных участков реализована в виде дерева процессов, включающего следующие шаги (рис. 2).

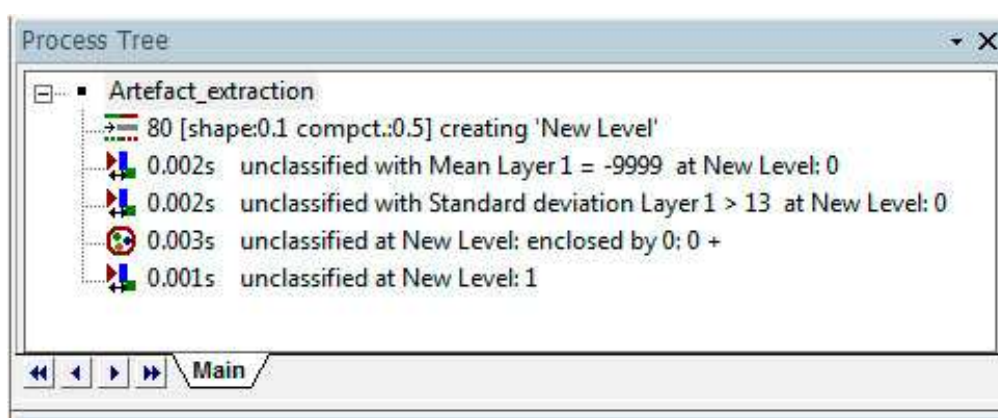


Рис. 2. Процедура выделения артефактов в программе eCognition

1. Сегментация. Параметры процедуры сегментации:
  - параметр масштаба (scale parameter) – 80;
  - индекс формы/цвета (shape/color) - 0,1/0,9;
  - индекс компактности (compactness) - 0,5.
2. Отнесение существующих пропусков, имеющих значение -9999, в нулевой класс.
3. Выделение артефактов и отнесение их в нулевой класс. Стандартное отклонение (StdDev) рассчитывается из значений всех  $n$  пикселей, входящих в сегмент:

$$\sigma_L = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (C_{Li} - \bar{C}_L)^2}.$$

Диапазон значений показателя: [0; зависит от разрядности канала].

К артефактам были отнесены сегменты со значением стандартного отклонения больше 15 (рис. 3).

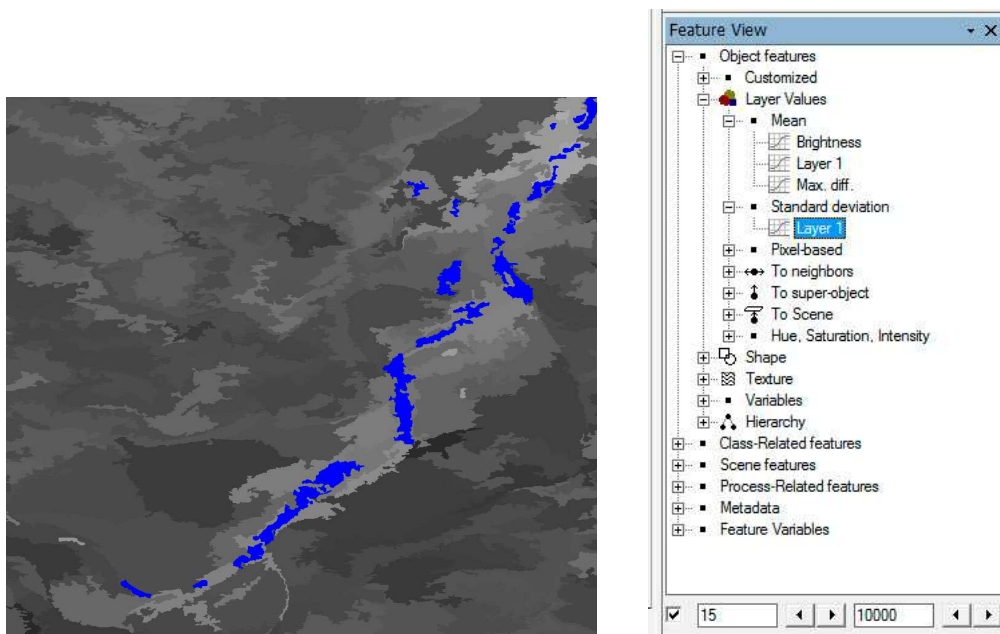


Рис. 3. Определение диапазона значений стандартного отклонения, соответствующего артефактам

4. Отнесение к нулевому классу неклассифицированных участков, попавших внутрь нулевого класса.
5. Присвоение всем остальным объектам значения 1.

Следует отметить, что процедура выделения артефактов с использованием дерева процессов является полностью автоматизированной, что делает ее удобной при необходимости обработки большого количества однородных данных. В нашем случае было обработано 35 сцен ASTER GDEM. Результаты были экспортированы в формат GeoTIFF и собраны в единую мозаику. Таким образом, была получена маска в виде растра с кодировкой 1/0 для удаления участков с аномальными значениями высот с исходной ЦМР ASTER.

Для маскирования исходные сцены также были сшиты в мозаику.

На следующем этапе была создана единая сетка высот на территорию ПФО. Для этого мозаика ASTER GDEM с удаленными артефактами была приведена к одному разрешению с SRTM, т.е. разрешение пересчитано до 3 угловых секунд интерполяцией методом ближайшего соседа. Для удаления мелких артефактов полученная сетка была сглажена медианным фильтром с размером окна 5x5 ячеек.

Полученная ЦМР была сшита в единую мозаику с 11-ю сценами SRTM. Результирующая сетка была трансформирована в универсальной поперечной проекции Меркатора (UTM), 39 зона Северного полушария на сфероиде WGS 84 с разрешением 100 м.

Последним шагом стало восстановление пропущенных данных методом многоуровневой аппроксимации с использованием базисных сплайнов (рис. 4). Это метод

последовательного уточнения базиса, первоначально разработанный для оптимального восстановления трехмерных поверхностей по нерегулярно распределенным данным.

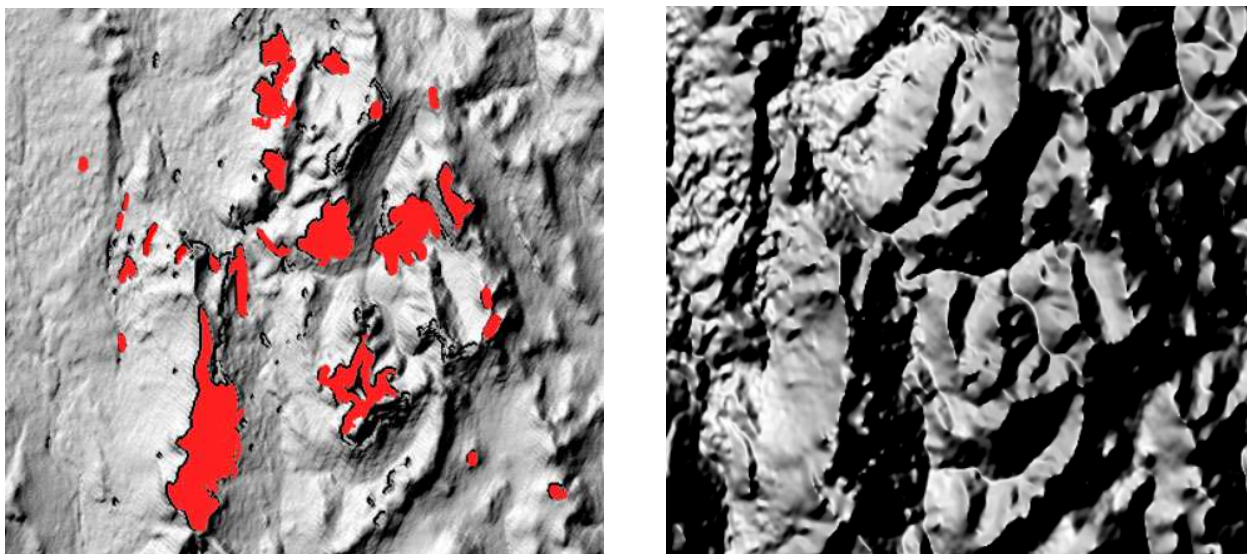


Рис. 4. Восстановление пропусков методом В-сплайнов (фрагмент ЦМР)

В начальный момент выбирается контрольная сетка малого размера  $N_0 \times M_0$ , покрывающая всю область, и строится аппроксимация на этой сетке. После построения первой (грубой) модельной функции вычисляются ее значения в известных точках и остатки (отклонения) от известных в них значений. Выбирается новый базис на вдвое точной контрольной сетке  $2N_0 \times 2M_0$ . Этот процесс продолжается до тех пор, пока погрешность аппроксимации не станет меньше заданной.

Построенный таким образом многоуровневый базис используется для восполнения значений во всех точках сетки.

На первом уровне иерархии расчетная область делится на заданное число ячеек по вертикали и по горизонтали. Строится грубая аппроксимация поверхности  $\tilde{u}_0$ , для чего данные по всем узлам, попавшим в одну ячейку, усредняются и в центре каждой ячейки строится двумерный сплайн.

На втором этапе в качестве данных выступают не значения в узлах исходной сетки  $f(x_i, y_i)$ , а разности  $f(x_i, y_i) - \tilde{u}_0(x_i, y_i)$ , число ячеек удваивается и строится поправка  $\tilde{v}_1$  к первому приближению. Второе приближение принимается равным сумме  $\tilde{u}_1 = \tilde{u}_0 + \tilde{v}_1$ .

На третьем этапе число ячеек опять удваивается и строится поправка ко второму приближению и третье приближение. Данный процесс продолжается до достижения заданной точности аппроксимации [9].

Поскольку результатом такой обработки будет являться производная матрица высот, процедуру следует проводить для всей сетки, несмотря на отсутствие пропусков в модели SRTM.

### **Результаты и обсуждение**

Таким образом, была создана цифровая матрица высот с разрешением 100 м на территорию Приволжского федерального округа, размером приблизительно 14000x14000 ячеек (рис. 5). Следует отметить, что разработанная технологическая схема с таким же успехом может применяться для подготовки цифровых моделей высот на другие территории и имеющих отличные параметры (например, пространственное разрешение).

На следующем этапе будет создана специализированная геоинформационная система по речным бассейнам, наполнение которой будет осуществлено по ранее подготовленной геопространственной базе данных [3; 7].

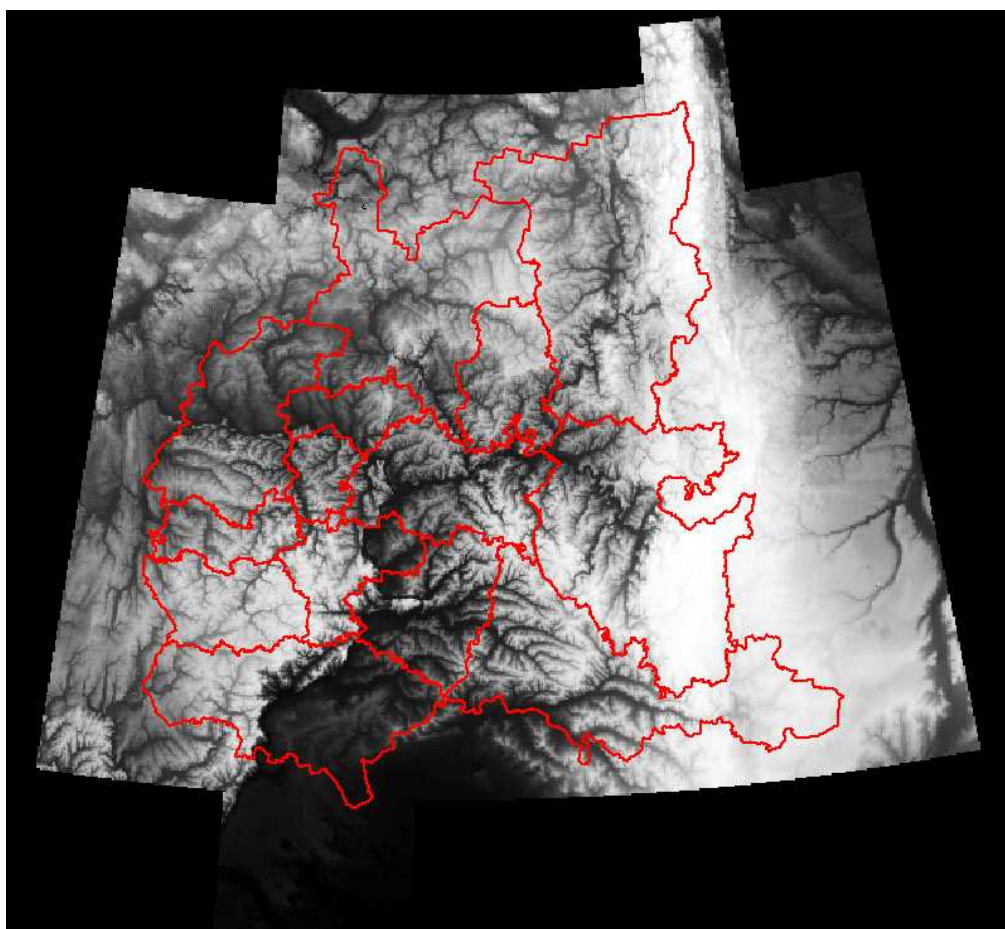


Рис. 5. Подготовленная ЦМР на территорию ПФО.

### **Список литературы**

1. Дубинин М.Ю. Общее описание ASTER GDEM // GIS-Lab: Географические информационные системы и дистанционное зондирование [Электронный ресурс]. – URL: <http://gis-lab.info/qa/aster-gdem.html>;
2. Ермолаев О.П. Эрозионные процессы в бассейновых геосистемах Среднего Поволжья // Изв. РГО. - 2013. - Т. 145. - Вып. 2. – С. 66-74.
3. Ермолаев О.П. Эрозия в бассейновых геосистемах. - Казань : Унипресс КГУ, 2002. – 265 с.
4. Ермолаев О.П., Мальцев К.А., Мозжерин В.В., Мозжерин В.И. Глобальная геоинформационная система «Сток взвешенных наносов в речных бассейнах Земли» // Геоморфология. – 2012. - № 2. - С. 50-58.
5. Kirill Maltsev, Oleg Yermolaev & Vadim Mozzerin Mapping and spatial analysis of suspended sediment yields from the Russian Plain // Proceedings of an IAHS International Commission on Continental Erosion Symposium held at the Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS-Chengdu, China, 11-15 October 2012. pp. 251-258. IAHS Publication 356, 2012.
6. Oleg Yermolaev & Alina Avvakumova Cartographic-geoinformational estimation of the spatio-temporal erosion dynamics of arable soils in forest-steppe landscapes of the Russian Plain // Proceedings of an IAHS International Commission on Continental Erosion Symposium held at the Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS-Chengdu, China, 11-15 October 2012. pp. 332-337. IAHS Publication 356, 2012.
7. Yermolaev O. EROSION IN BASIN GEOSYSTEMS OF THE MIDDLE VOLGA (FROM A LANDSCAPE ANALYSIS PERSPECTIVE) IAHS Proceedings and Reports. - 2004. - № 288. - С. 60-66.
8. Martin Baatz. Definiens Ecognition. User guide / Martin Baatz, Ursula Benz, Seyed Dehghani. – Munich, 2004. – 486 с.
9. Seungyong Lee, George Wolberg, Sung Yong Shin. Scattered data interpolation with multilevel B-splines // IEEE Transactions on Visualisation And Computer Graphics. – 1997. – Vol. 3. - P. 228-244.

**Рецензенты:**

Ермолаев О.П., д.г.н., профессор, зав. кафедрой ландшафтной экологии Института экологии и географии Казанского федерального университета, г. Казань.

Торсуев Н.П., д.г.н., профессор, профессор кафедры ландшафтной экологии Института экологии и географии Казанского федерального университета, г. Казань.