

УДК 528.856.044.1; 528.854.2

**О. П. ЕРМОЛАЕВ, К. А. МАЛЬЦЕВ, М. А. ИВАНОВ**

Казанский (Приволжский) федеральный университет

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПОСТРОЕНИЕ ГРАНИЦ БАСЕЙНОВЫХ ГЕОСИСТЕМ  
ДЛЯ ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА**

*На примере Приволжского федерального округа представлено решение такой актуальной научно-методической задачи, как автоматизированное выделение границ бассейновых геосистем, находящихся в различных ландшафтных и геоморфологических условиях, по цифровым моделям рельефа разного разрешения. Описаны основные этапы работы: подготовка цифровой модели рельефа, ее гидрологическая коррекция, выделение границ бассейновых геосистем и оценка достоверности полученных результатов. Разработана методика создания гидрологически верной цифровой модели рельефа для выделения границ бассейновых геосистем.*

Ключевые слова: цифровые модели рельефа, ГИС, Приволжский федеральный округ, ASTER GDEM, SRTM, бассейновые геосистемы.

*Using the Volga (Privolzhskii) Federal District as an example, we offer the solution of such a currently central scientific and methodological problem as automated identification of the boundaries of basin geosystems under different landscape and geomorphological conditions in terms of digital elevation models of different resolution. The main stages of work are described, namely preparation of the digital elevation model, its hydrological adjustment, identification of the boundaries of basin geosystems, and validity assessment of results obtained. The technique has been developed for constructing a hydrologically valid digital elevation model with the purpose of identifying the boundaries of basin geosystems.*

Keywords: digital elevation models, GIS, Volga Federal District, ASTER GDEM, SRTM, basin geosystems.

**ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ**

При гидролого-геоморфологическом моделировании, решении широкого круга прогнозных задач оценки водных ресурсов, твердого и жидкого стока рек необходимо создание единой геопространственной базы данных на бассейны рек России. Учитывая размеры нашей страны, в первую очередь требуется построить векторную карту границ речных систем разного порядка. С помощью традиционных (ручных) технологий в силу обширности территории России, огромного количества (сотни тысяч) водотоков и информационной разобщенности ведомств, занимающихся водными ресурсами, подобную карту создать не удалось. Эта задача может быть решена только с использованием современных информационных технологий.

На кафедре ландшафтной экологии Казанского федерального университета проводятся гидролого-геоморфологические исследования, начатые еще в середине 1970-х гг. А. П. Дедковым и В. И. Можжериним. Главная цель этих работ на текущем этапе заключается в создании специализированных ГИС разного уровня генерализации, где в качестве операционно-территориальных единиц выступает речной (водосборный) бассейн.

В частности, создана региональная ГИС «Бассейновые геосистемы Среднего Поволжья» (3331 бассейн рек 3-го порядка), формируется ГИС глобального уровня «Сток взвешенных наносов в речных бассейнах Земли» (более 2000 бассейнов средних и крупных рек) для количественной оценки и пространственно-временного геоморфологического анализа систем эрозии и экзогенного рельефообразования на Земле [1–7].

Геопространственный анализ на основе бассейнового подхода в первую очередь зависит от возможности выделения границ бассейнов по существующим цифровым моделям рельефа (ЦМР) разного разрешения с минимальными ошибками с использованием современных информационных технологий. Таким образом, планарное выделение границ речных бассейнов и их межбассейновых пространств с помощью ГИС-технологий стало основной идеей проведенных исследований. Далее все эти пространственные выделы мы будем называть бассейновыми геосистемами.

Выбор в качестве региона исследования Приволжского федерального округа (ПФО) обусловлен несколькими причинами. Во-первых, размеры исследуемой территории должны быть большими, а масштаб — соответствовать трансрегиональному и глобальному уровню генерализации. Во-вторых, тер-

ритория должна находиться в разных ландшафтных зонах с разнообразными морфогенетическими типами рельефа. Это позволит в дальнейшем обеспечить пространственную экстраполяцию результатов исследования на неизученные территории. В-третьих, географическое положение региона должно быть таким, чтобы он находился в широтах, обеспеченных разными по детальности цифровыми моделями рельефа (т. е. севернее  $60^\circ$  с. ш.). Подобное требование обусловлено расположением значительной части территории России в полярных широтах, где заканчивают свое течение все великие сибирские реки.

Территория ПФО составляет 1 034 000 км<sup>2</sup> и находится в условиях возвышенных и низменных ландшафтов равнин умеренного пояса, простираясь от подзоны северной тайги на севере до типичных степей на юге. Она покрывается более чем 340 листами топографических карт м-ба 1:200 000, в связи с чем выделение границ речных бассейнов вручную является трудновыполнимой задачей. Поэтому для создания геопространственной базы данных, операционно-территориальной единицей которой являлись бы бассейновые геосистемы, целесообразно использовать алгоритмы автоматизированного выделения их границ на основе ЦМР. Цифровые модели рельефа, в основе которых лежат регулярные координатные сетки, в настоящее время широко используются специалистами, работающими в самых разных направлениях географии [1, 4].

Одна из задач, решаемых с использованием географических информационных систем (ГИС) и ЦМР, — выделение границ водосборов (постоянных и временных водотоков). Важность ее решения определяется многообразием научных и прикладных задач, реализуемых с помощью бассейнового подхода. Об этом свидетельствуют созданные для различных регионов Земли базы данных, в основе которых лежат бассейновые геосистемы [2–4, 8]. Наиболее известной базой глобального охвата является HydroSHEDS, созданная по заказу Всемирного фонда дикой природы в 2006 г. [9]. Данные распространяются с разрешением 15 и 30 угл. с. Однако такой мелкий масштаб не соответствует региональному уровню генерализации (м-б 1:200 000).

Таким образом, основная цель нашего исследования заключается в разработке методики построения в автоматизированном режиме сетки бассейновых геосистем (на примере Приволжского федерального округа) с использованием ЦМР.

Задачи исследования включают: подбор исходных материалов; устранение артефактов и аномальных значений на ЦМР ASTER GDEM; формирование единой сетки высот с шагом 100 м и восстановление пропущенных данных; гидрологическую коррекцию полученной ЦМР; построение границ водосборных бассейнов и межбассейновых пространств; оценку точности методики.

### ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ключевой задачей вне зависимости от способа выделения границ бассейнов является определение адекватности отображения рельефа той или иной местности на обычных или цифровых картах. В настоящее время существует множество цифровых моделей рельефа. Для регионального уровня генерализации наиболее подходящей ЦМР является SRTM с разрешением 3 угл. с [10], однако она не покрывает территорию Земли севернее  $60^\circ$  с. ш. Поэтому для этих участков использовалась модель рельефа ASTER GDEM v.2 с разрешением 1 угл. с [11].

Для создания сетки, покрывающей всю территорию ПФО, использовано 11 сцен (мозаик) SRTM размером  $5 \times 5^\circ$  (6000 × 6000 пикселей) каждая и 35 сцен ASTER GDEM размером  $1 \times 1^\circ$  (3601 × 3601 пикселей) каждая. Все исходные данные размещены 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 севернее  $60^\circ$  с. ш. на значение 9999, а также «положительные» и «отрицательные» артефакты. По результатам сопоставления ASTER GDEM со снимками Landsat 5TM большинство «положительных» артефактов (пиков) приурочено к водным объектам — озерам и крупным рекам; а «отрицательных» (ям) — к линейным (дороги, границы вырубок и т. д.). Наличие таких артефактов делает процедуру автоматизированного выделения границ водосборных бассейнов практически невозможной.

Также, несмотря на то, что разрешение продукта составляет 1 угл. с (30 м в плане), минимальный размер идентифицируемого элемента топографии равен 100–120 м [12]. В этой связи первоочередной задачей стало устранение артефактов с модели рельефа ASTER GDEM.

При выделении и удалении 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, их дальнейшую классификацию по традиционным спектрально-яркостным признакам, а также 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 [13].

Первоначально была проведена сегментация с переменным разрешением (Multiresolution segmentation). Она составляется путем слияния областей, начиная с объектов размером в один пиксель. Шаг за шагом мелкие объекты объединяются в более крупные [14].

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

Процедура идентификации аномальных участков реализована в виде дерева процессов, включающего следующие шаги.

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 по формуле (1) из значений всех  $n$  пикселей, входящих в сегмент:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2}, \quad (1)$$

где  $C_i$  — значение высоты  $i$ -й ячейки в сегменте;  $\bar{C}$  — среднее значение высоты, рассчитанное из всех ячеек сегмента. Диапазон значений показателя: [0; зависит от разрядности канала]. К артефактам были отнесены сегменты со значением стандартного отклонения больше 15.

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 полностью автоматизирована, что делает ее удобной при обработке большого количества однородных данных. В нашем случае было обработано 35 сцен ASTER GDEM. Результаты экспортированы в формат GeoTIFF и собраны в единую мозаику. Таким образом, получена маска в виде раstra 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 угл. с интерполяцией методом ближайшего соседа. Для удаления мелких артефактов полученная сетка сглажена медианным фильтром с размером окна  $5 \times 5$  ячеек. Полученная ЦМР была сшита в единую мозаику с 11 сценами SRTM. Результирующая сетка трансформирована в проекцию Гаусса–Крюгера на 9-ю зону с разрешением 100 м.

Последним шагом стало восстановление пропущенных данным методом многоуровневой аппроксимации с использованием базисных сплайнов (рис. 1). Это метод последовательного уточнения базиса, первоначально разработанный для оптимального восстановления трехмерных поверхностей по нерегулярно распределенным данным. 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 отклонения от известных в них значений. Выбирается новый базис на контрольной сетке  $2N_0 \times 2M_0$  вдвое большей точности. 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 горизонтали. Строится грубая аппроксимация поверхности  $\tilde{u}_0$ . Для этого 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  $\tilde{u}_1 = \tilde{u}_0 + \tilde{v}_1$ .

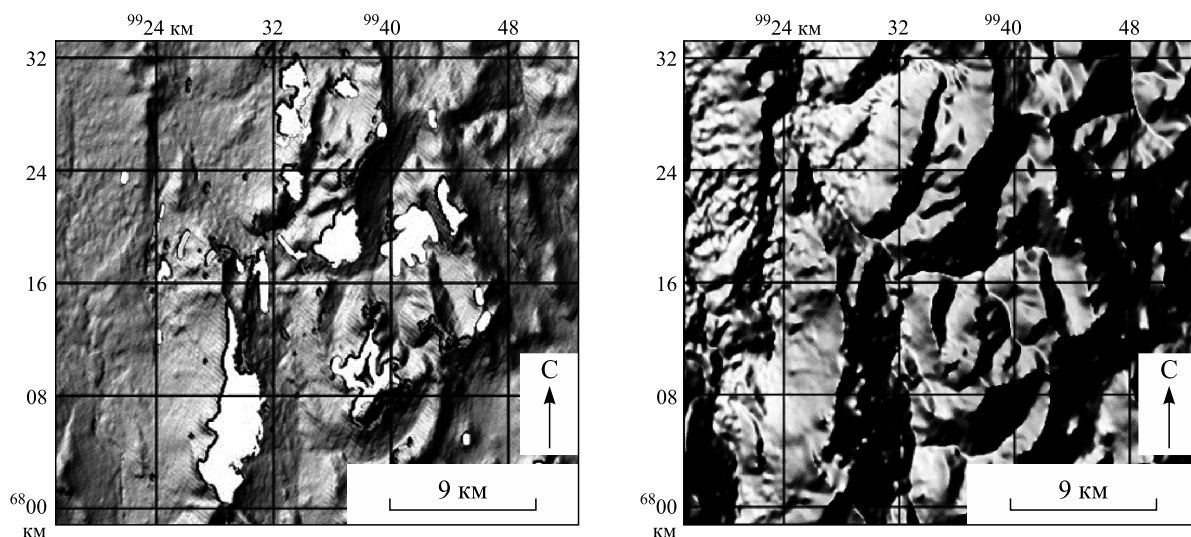


Рис. 1. Восстановление пропусков методом В-сплайнов (фрагмент ЦМР).

На третьем этапе число ячеек опять удваивается, строится поправка ко второму приближению и третье приближение. Данный процесс продолжается до достижения заданной точности аппроксимации [15]. Поскольку результатом такой обработки будет производная матрица высот, процедуру следует проводить для всей сетки, несмотря на отсутствие пропусков в модели SRTM.

По данному алгоритму создана цифровая матрица высот с разрешением 100 м на территорию ПФО. Размер этой матрицы составил приблизительно  $14\,000 \times 14\,000$  ячеек (рис. 2). Важно отметить, что разработанная технологическая схема с таким же успехом может применяться для подготовки цифровых моделей высот и на другие территории, имеющих иные параметры (например, пространственное разрешение).

Полученная сетка высот была подвергнута гидрологической коррекции. Необходимость такой коррекции обусловлена тем, что на ЦМР часто отсутствуют формы рельефа, соответствующие водным объектам (ложе озер, русла рек и т. д.), или же их форма в плане и положение отличаются при сравнении с изображениями данных объектов на топографических картах того же масштаба. Кроме того, гидрологическая коррекция необходима и для задания монотонно убывающих абсолютных отметок вдоль продольного профиля рек, что в свою очередь усиливает градиент функции высоты по этому направлению.

Поскольку подготовленная нами модель рельефа является растровой, а все используемые алгоритмы разработаны для растровых моделей данных, на первом этапе нами была проведена растеризация электронной векторной карты водоемов. Чтобы избежать появления мелких артефактных водосборов возле площадных водных объектов, все водные объекты должны быть толщиной в 1 пиксель. Для этого произведена операция превращения площадных водных объектов в линейные с использованием процедуры скелетонизации или топологического утоньшения. Методы топологического утоньшения строят скелет путем удаления точек на границе объекта до тех пор, пока не будет получена необходимая тонкость. Все утоньшающие алгоритмы функционируют в дискретных пространствах и основываются на концепте простой точки, введенной Д. Моргенталером в 1981 г. Простая точка — это точка, которая может быть удалена без изменения топологии объекта. Важное свойство «простых» точек состоит в том, что они могут быть определены локально, т. е. путем анализа локальной окрестности. Это делает алгоритмы топологического утоньшения более эффективными [16].

После утоньшения для гидросети было проведено дистанционное преобразование, т. е. для каждой ячейки гидросети рассчитано расстояние до заданной точки. В нашем случае рассчитывалось расстояние в метрах до точки псевдоустья с учетом карты сопротивления. Псевдоустьем мы здесь называем узел регулярной сетки, который относится к гидрографической сети, лежит на границе регулярной сетки и представляет собой точку вытекания водотока с изучаемой территории. Положение данных точек определялось в ручном режиме, исходя из информации о направлении течения реки или рисунка гидросети, если информация о направлении в явном виде отсутствовала.



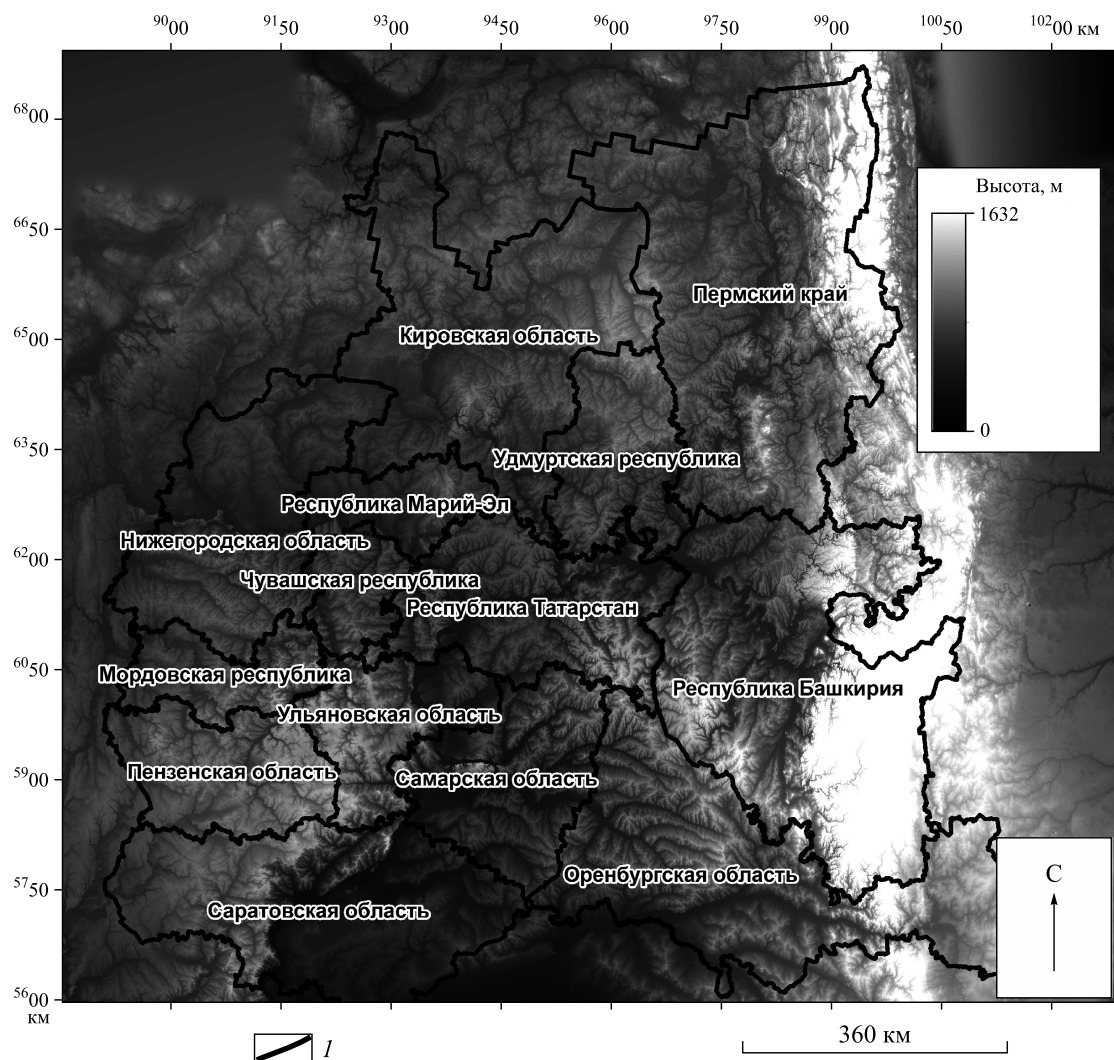


Рис. 2. Подготовленная цифровая модель рельефа территории ПФО.

1 — границы субъектов Федерации.

В качестве карты сопротивления использовалась регулярная растровая сетка, имеющая два вида кодов в ее узлах: код 1 соответствовал узлам гидрографической сети, код  $2 \times 10^{38}$  — всем остальным узлам. Результатом проведения дистанционного преобразования стала регулярная растровая сетка, в узлах которой располагались также два типа чисел: 9999, обозначающее отсутствие возможности расчета расстояния в узлах, не помеченных как водный объект; и реальное расстояние до псевдоустья вдоль водотока в узлах регулярной сетки, помеченных как водный объект. Расстояния в узлах сетки отличаются от соседних на величину шага сетки, если распространяются вдоль координатных осей, либо на величину равную  $\sqrt{2}(w^2)$  ( $w$  — шаг сетки), если распространяются по диагонали. Для выполнения этих условий необходимо задать положение точек так называемых псевдоустий. Их положение определялось в ручном режиме, исходя из информации о направлении течения реки или рисунка гидросети, если информация о направлении в явном виде отсутствовала.

Чтобы задать монотонное убывание отметок высот вдоль русла постоянной гидросети (это необходимо для корректного построения границ водосборов и определения порядков водотоков), полученная модель расстояний была инвертирована в соответствии с формулой (2) и вычтена из ЦМР:

$$RN = (R_{\max} - RS), \quad (2)$$

где  $RN$  и  $RS$  — новое и старое расстояния соответственно в узле регулярной сетки, помеченной как гидросеть;  $R_{\max}$  — максимальное расстояние на старой регулярной сетке.

Далее была выполнена операция тотального удаления локальных западин с использованием алгоритма разрушения границ депрессий в направлении линий поверхностного стока [17], по которому профиль, проведенный вдоль линий стока, становится монотонно убывающим. Результатом является тотальное удаление всех бессточных областей.

Перед выделением бассейновых геосистем с растровой модели гидрографической сети были удалены объекты длиной менее 500 м, что обусловлено заданным уровнем генерализации 1:200 000, при котором отбрасываются объекты размером 2–3 мм на карте. При заданном шаге сетки, равном 100 м, длина таких водных объектов в растровой модели будет составлять 5 пикселей. Кроме водных объектов, имеющих ничтожную длину, также были удалены водотоки первого порядка. Для этого сначала определялись порядки водотоков по классификации Страллера–Философова. Затем водотоки, имеющие первый порядок, удалялись из модели. Для получения модели порядков водотоков использована подготовленная ЦМР и модель гидросети.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Построение границ бассейновых геосистем выполнено с использованием гидрологически скорректированной модели рельефа и подготовленной растровой модели гидрографической сети. Полученные границы были конвертированы в векторную модель и сглажены (рис. 3).

Всего на территории исследований посредством разработанной методики выделено более 70 000 геосистемных образований, планарно покрывающих весь регион. Данные операционно-территориальные единицы образованы как самими речными бассейнами, так и их межбассейновыми пространствами. Распределение площадей бассейнов показано в таблице.

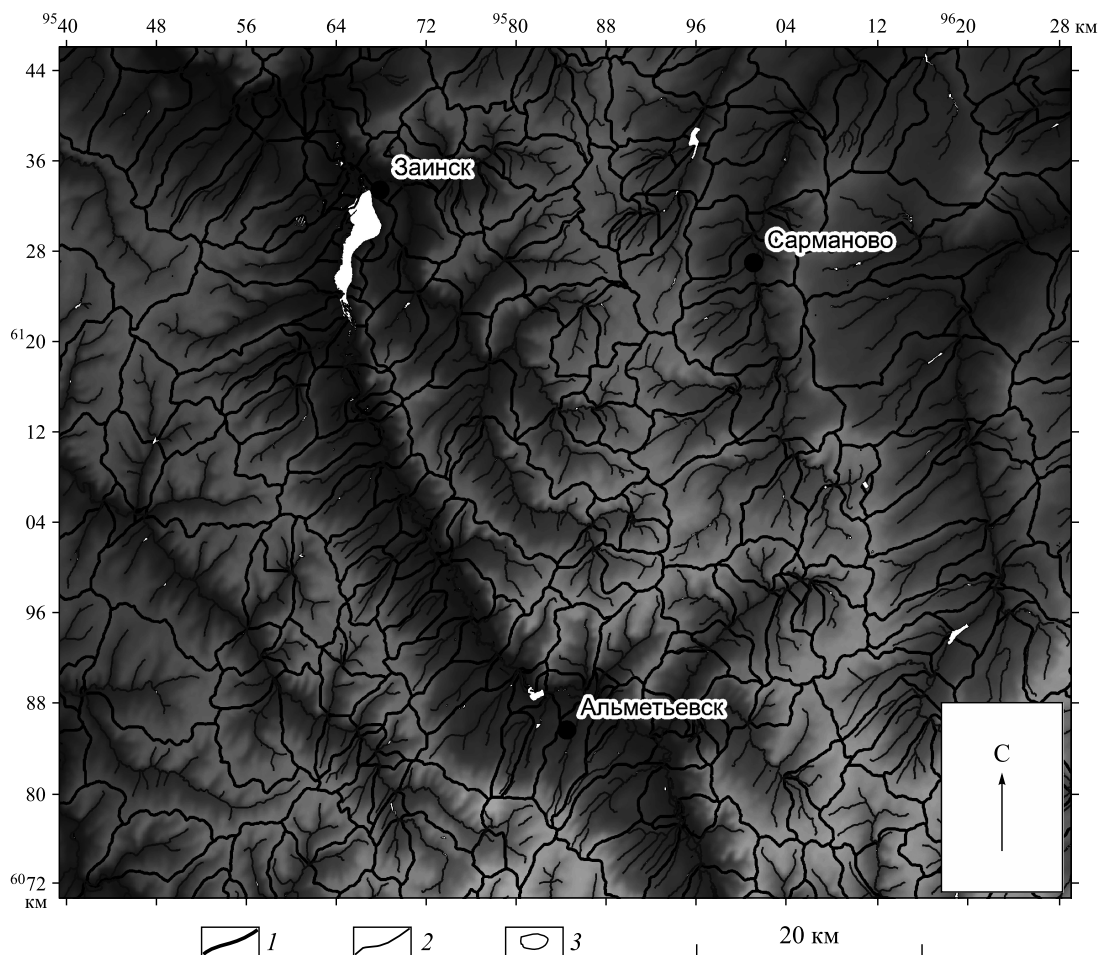


Рис. 3. Фрагмент построенной сети бассейновых геосистем.

1 — границы бассейновых геосистем; 2 — реки; 3 — водоемы.

**Основные статистические показатели площадей бассейновых геосистем Приволжского федерального округа**

Показатель	Площадь, км <sup>2</sup>
1 % — квантиль	0,13
99 % — квантиль	132,9
Сумма	1 066 354,25
Среднее	14,72
Среднеквадратичное отклонение	29,3

На последнем этапе оценивалась точность выделения бассейнов. В качестве контрольного выбран участок территории на юго-востоке Татарстана общей площадью 6002 км<sup>2</sup>. В пределах этой территории опытным географом традиционными (ручными) технологиями в том же масштабе (1:200 000) были выделены границы бассейнов. Всего их оказалось 260. Полученная сетка бассейнов была сначала векторизована, а затем совмещена с сеткой бассейнов, выделенных с помощью предлагаемой авторами автоматизированной методики (рис. 4). При этом выделены участки, образованные пересечением исходной и скорректированной сеток, т. е. ошибки.

Суммарная площадь с ошибками — 68,31 км<sup>2</sup>, что составляет всего 1,1 % от общей площади контрольного участка. Даже если предположить, что ручные технологии более точны, ошибка получилась ничтожно малой. Это позволяет говорить о высокой достоверности предлагаемой нами методики автоматизированного выделения границ бассейновых геосистем.

Полученная сетка бассейновых геосистем на Приволжский федеральный округ России является основой для создания специализированной геоинформационной системы по речным бассейнам, наполнение которой будет осуществлено по ранее подготовленной геопространственной базе данных [18, 19]. В первую очередь геопространственная база данных пополняется показателями рельефа, которые рассчитываются в ходе геоморфометрического анализа (крутизна склонов, глубина расчленения, длина линий тока, продольная и профильная кривизны, экспозиция склонов и др.).

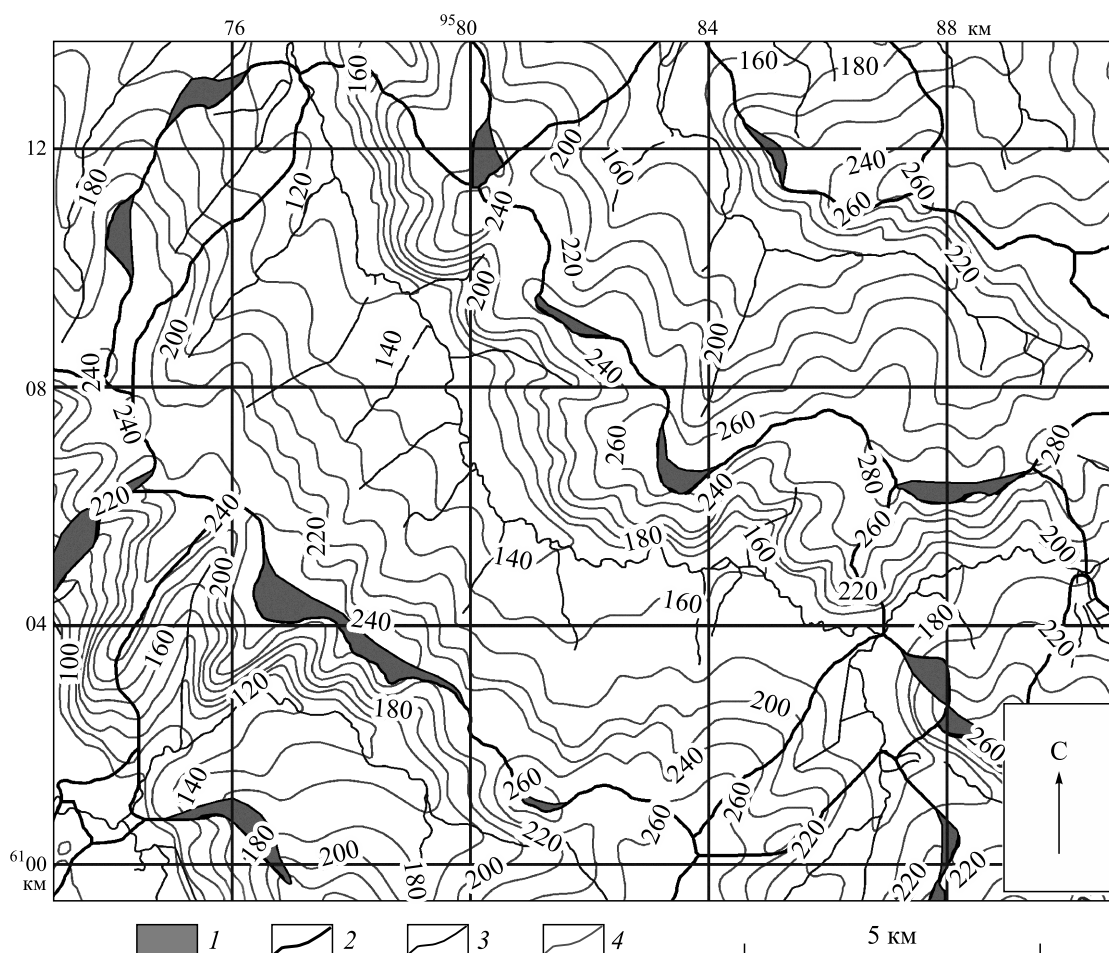


Рис. 4. Оценка точности границ бассейнов, выделенных автоматизированным и традиционным (ручным) методами.

1 — ошибки; 2 — границы бассейновых геосистем; 3 — реки; 4 — изогипсы.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования разработана методика автоматизированного выделения границ бассейновых геосистем с использованием цифровых моделей рельефа Земли, находящихся в открытом доступе. Решена задача совмещения ЦМР различного разрешения для более точного проведения границ водосборов в полярных широтах с устранением возникающих артефактов на основе методики объектно-ориентированного дешифрирования. Создана карта бассейновых геосистем на крупный субъект России — Приволжский федеральный округ. Оценка достоверности разработанной методики выделения границ бассейнов при сравнении с традиционным (ручным) методом их идентификации показала ее высокую точность. Это позволяет рекомендовать данную методику с целью решения аналогичных задач для других регионов России и мира.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (14-05-00503), Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» (13-05-41126-а).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Ермолаев О. П. Эрозионные процессы в бассейновых геосистемах Среднего Поволжья // Изв. РГО. — 2013. — Т. 145, вып. 2. — С. 66–74.
3. Maltsev K., Yermolaev O., Mozzerin V. 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. — IAHS Publication, 2012. — P. 251–258.
4. Ермолаев О. П., Мальцев К. А. Использование цифровых моделей рельефа для автоматизированного построения границ водосборов // Геоморфология. — 2014. — № 1. — С. 45–53.
5. Yermolaev O. P. Assessment of the suspended sediment yield in the rivers' basin of the Russian Plain // World Applied Sci. Journ. — 2013. — 27(5). — P. 626–631.
6. Yermolaev O. P. Erosion processes of the forest and forest-steppe zones in the eastern part of the Russian Plain // World Applied Sci. Journ. — 2014. — 29(3). — P. 453–459.
7. Ермолаев О. П., Мозжерин В. В., Мальцев К. А. Сток взвешенных наносов в бассейновых геосистемах Европейской территории России: Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2012620445 от 18.05.2012.
8. Yermolaev O., Avvakumova A. 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. — IAHS Publication, 2012. — P. 332–337.
9. Lehner B., Verdin K., Jarvis A. HydroSHEDS Technical Documentation. World Wildlife Fund US, Washington [Электронный ресурс]. — <http://hydrosheds.cr.usgs.gov/> (дата обращения 03.04.2014).
10. Данные SRTM [Электронный ресурс]. — <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp> (дата обращения 03.04.2014).
11. Данные Aster GDEM [Электронный ресурс]. — <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/search.jsp> (дата обращения 03.04.2014).
12. Дубинин М. Ю. Общее описание ASTER GDEM // GIS-Lab: Географические информационные системы и дистанционное зондирование [Электронный ресурс]. — <http://gis-lab.info/qa/aster-gdem.html> (дата обращения 03.04.2014).
13. Андрианов В. Ю. Новые технологии дистанционного зондирования и работы с ДДЗ // ArcReview. — 2005. — № 3. — С. 1–2.
14. Baatz M., Benz U., Dehghani S. Definiens eCognition. User guide. — Munich, 2004. — 486 p.
15. Lee S., Wolberg G., Sung Yong Shin. Scattered data interpolation with multilevel B-splines // IEEE Transactions on Visualisation and Computer Graphics. — 1997. — Vol. 3. — P. 228–244.
16. Gonzalez R., Woods R. Digital image processing. — Addison-Wesley Publ. Company, 1992. — P. 518–548.
17. Lindsey J. B., Creed I. F. Removal artifact depression from digital elevation model: Toward a minimum impact approach // Hydrological Processes. — 2005. — N 19. — P. 3113–3126.
18. Ермолаев О. П. Эрозия в бассейновых геосистемах. — Казань: Унипресс КГУ, 2002. — 265 с.
19. Yermolaev O. Erosion in basin geosystems of the middle Volga (from a landscape analysis perspective) // IAHS Proceedings and Reports. — 2004. — N 288. — P. 60–66.

*Поступила в редакцию 9 декабря 2013 г.*