

COMPARATIVE ANALYSIS OF EQUILIBRIUM BEACH PROFILE CALCULATION METHODS

A.L. KHOMCHANOVSKY, E.A. FEDOROVA, An.A. LYGIN, A.Sh. KHAVIDOV

Summary

This paper presents the results of evaluation of several methods commonly used in coastal engineering practice for equilibrium beach profile calculation. Three approaches were used to calculate the shape of equilibrium beach profile: the Bruun–Dean formula, the method prescribed by Coastal Structure Construction Code, and numerical modeling by SBEACH. The calculated profiles were compared with the real profile of the equilibrium sand beach. It is shown that the Bruun–Dean formula gives the best agreement with the reality.

УДК 551.4.03:528.067.4(571.14)

© 2014 г. Д.А. ЧУПИНА

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ ФОРМ И КОМПЛЕКСОВ РЕЛЬЕФА НА ОСНОВЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКОГО ГИС-АНАЛИЗА (НА ПРИМЕРЕ ВЕНГЕРОВСКОГО РАЙОНА НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ)¹

*Ин-т геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск;
dasha.chupina@gmail.com*

Постановка проблемы

Появление персональных компьютеров и бурный рост новейших технологий, доступных каждому специалисту в области наук о Земле, сделали рентабельным (по соотношению трудозатраты/результат) целый ряд задач, которые до этого не могли быть реализованы в полной мере из-за трудоемкости или необеспеченности технологическими возможностями. К таким задачам относятся и та, которой посвящена эта статья: автоматическое геоморфологическое картографирование. В аспекте фактологического обеспечения, предпосылкой для решения этой задачи стало появление цифровых моделей рельефа (ЦМР) общего доступа через Интернет (SRTM и т. п.). В методическом отношении такой предпосылкой явилось возникновение разнообразных программных средств, ориентированных на работу с сеточными и растровыми форматами, в которых представлены ЦМР. В данной работе операции с сетками (формат GRID) осуществляются в программном пакете ArcGIS 9.3 компании ESRI, а операции с растрами (формат GeoTIFF) в системе обработки цифровых изображений ENVI 4.5, разработанной компанией ITT Visual Information Solutions. Для того чтобы охарактеризовать предлагаемый подход к геоморфологическому картографированию на основе технологий ГИС и ДЗ, прежде всего рассмотрим современные представления об объекте исследования.

В классической геоморфологии сложилось представление о триаде рельефа, т.е. рельеф воспринимается через три дополняющих друг друга характеристики: форма, генезис, возраст. При этом разными авторами этим трем признакам придается разное значение. Многие исследователи считают, что морфологические классификации играют вспомогательную роль, а основное значение следует придавать историко-генетическому подходу [1]. Соответственно, структура рельефа рассматривается ими в виде

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-05-31101).

пространственно-временного многообразия, а возраст рельефа выводится из анализа коррелятных отложений. Иными словами: “без понимания происхождения и времени возникновения граней и форм рельефа не может быть геоморфологии как исторической науки” [1, с. 19].

Альтернативной точки зрения придерживается А.Н. Ласточкин. Разработанный им морфодинамический подход связан в первую очередь не с генезисом и возрастом рельефа, а, прежде всего, с геометрией природы, анализируемой на основе общей теории систем. Он базируется на математическом описании земной поверхности и на представлении о естественных границах делимости рельефа, в качестве которых выступают структурные линии (вогнутого перегиба, выпуклого перегиба, килевые, гребневые), характерные точки и т.п. Технологически данный подход сходен с построением карт пластики рельефа, что является достаточно популярной процедурой у почвоведов и ландшафтоведов [2]. Создаваемый в значительной мере для изучения геолого-геоморфологической основы ландшафтов, морфодинамический анализ нашел применение и для геоморфологического картографирования арктического шельфа [3], поисков железо-марганцевых конкреций на океаническом дне [4] и др.

Обоснованию перспектив совмещения достижений классической геоморфологии и возможностей новейших технологий посвящены, в частности, работы Ю.Г. Симонова [5]. В рамках подхода, названного им объяснительной морфометрией, необходимо раскрыть связь количественных характеристик рельефа с его происхождением на основе применения методологии синергетики, идей фрактальной геометрии, внедрения ГИС-технологий. Говоря о синергетике (или геосинергетике), он обращает внимание на то, что морфолитогенез является результатом взаимодействия трех факторов: зонально-географических, провинциально-геологических, фациально-генетических. Основой объяснительной морфометрии служит представление о том, что в своем облике рельеф хранит характерные черты образовавшего его процесса.

Существует много точек зрения по поводу акцентирования того или иного компонента триады. Предлагаемый нами подход ориентирован на классические геоморфологические представления о значимости не только морфологических, но и историко-генетических характеристик рельефа. Вместе с тем в нем используются возможности геоинформационных технологий. Суть предлагаемого метода сводится к применению ГИС и ДЗ для распознавания форм и морфокомплексов, отличающихся спецификой и длительностью своего образования.

Методика исследования

Выделению морфокомплексов предшествует этап проработки данных государственного геологического картирования, литературных и фондовых источников о происхождении и возрасте рельефа изучаемой территории. В случае необходимости, проводятся экспедиционные исследования. На основе анализа этих данных выявляется набор морфокомплексов, наиболее распространенных в пределах рассматриваемой территории, что является необходимым условием для автоматического картографирования. Таким образом, предлагаемый подход ориентирован на распознавание и автоматическое оконтуривание форм и типов рельефа с определенными генетическими и возрастными характеристиками, а не на формализованное выделение форм земной поверхности и их сочетаний вне историко-генетического контекста. Методика реализована на основе применения достаточно популярных среди геологов и географов программных пакетов ENVI и ArcGIS, что обеспечивает ее тиражируемость.

Для выделения морфокомплексов на основе морфометрических показателей нами использовались два способа, представленных на технологической схеме (рис. 1). Каждый из них может быть реализован автономно, но они могут и дополнять друг друга. Сначала необходимо выбрать (или построить) цифровую модель рельефа. Для сред-

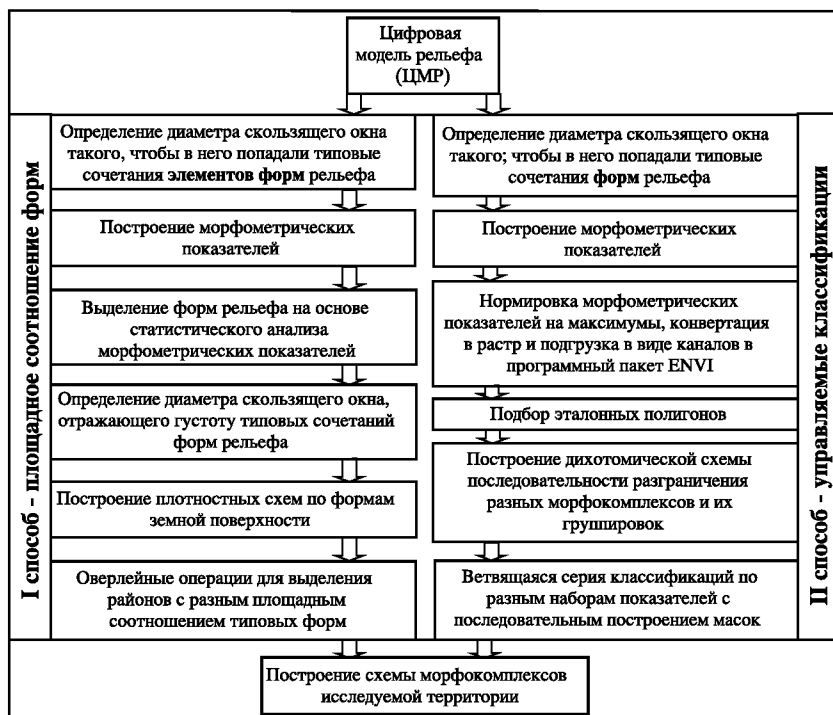


Рис. 1. Технологическая схема выделения морфокомплексов

немасштабного картографирования целесообразно использовать цифровую модель рельефа SRTM открытого доступа с исходным размером ячейки для 55–56° широты примерно 90×60 м. Для построения морфометрических показателей исходная сетка ЦМР была генерализована в программе ENVI 4.5 до разрешения 100×100 м, в связи с тем, что программный пакет ArcGIS работает только с равносторонней ячейкой. Для этого на языке программирования IDL был написан модуль, позволяющий перекодировать цифровую модель рельефа из формата GeoTiff в формат ASCII. Затем с помощью функции Rasterize point data, используя линейную интерполяцию, была получена цифровая модель рельефа с размером ячейки 100×100 м.

Морфометрические показатели рассчитываются в модуле Spatial Analyst с использованием процедуры Neighborhood Statistics. В качестве входных параметров было указано следующее: тип статистики – среднее/диапазон, окрестность – круг, радиус (для первого способа – 10 км, для второго – 5 км), размер ячейки – 100 м. На основе таких абсолютных морфометрических показателей как: высоты, углы и азимуты падения склонов (субмеридиональная и субширотная проекции) – были рассчитаны 4 показателя средних и 4 показателя их диапазонов (максимальное значение минус минимальное).

Рассмотрим подробнее первый способ выделения морфокомплексов – по удельному площадному соотношению типовых форм. Изначально необходимо подобрать размер скользящего окна так, чтобы в него попадали основные элементы форм земной поверхности (границы и ребра). Это позволяет на основе анализа сочетания элементов выделять формы. Далее подбирается размер окна, отражающий густоту распространения тех или иных форм на исследуемой территории. Размер окна должен быть такой, чтобы на порядок превышать средний размер типичных форм. В подобранном окне строятся карты плотности каждой из форм в сеточном формате. Нормировав эти плотностные карты на 100% заполнения окна, получаем карты плотности форм с из-

вестным процентом их удельной площади в окне. Наложение плотностных схем друг на друга дает представление о типах рельефа, где доминируют те или иные формы. В местах, где соседствует несколько разных форм, получаем контуры комплексного рельефа. Технологически сопряженный анализ плотностных карт осуществляется с помощью оверлейных операций. Результатом является итоговая схема типов рельефа, составленная по характерным соотношениям удельных площадей ключевых форм.

Получить схему морфокомплексов можно и другим путем – с использованием управляемых классификаций. Этот метод популярен при автоматическом распознавании природно-территориальных комплексов на мультиспектральных космоснимках [6]. Сходный подход применялся и при геоморфологических исследованиях [7]. Этот путь позволяет изначально выделять типы рельефа (морфокомплексы), минуя этап выделения форм. Он опирается на предположение о том, что устойчивым сочетаниям форм, образующим характерные типы рельефа, соответствуют определенные интервалы значений морфометрических параметров. Таким образом, если при построении морфометрических показателей подобрать размер скользящего окна такой, чтобы в него попадали основные сочетания форм земной поверхности, то можно получить усредненные морфометрические показатели типов рельефа, а не составляющих их форм. Этот подход был уже апробирован нами ранее, при выделении морфокомплексов Чуйской котловины [8].

Все типы рельефа невозможно распознать по одному показателю: по некоторым показателям они оказываются схожи между собой, объединяясь в группировки разной иерархии, а по другим они с большей или меньшей степенью надежности разделяются. Например, по вертикальной расчлененности территория может распадаться на три района: слабо-, средне- и сильнорасчлененного рельефа. В свою очередь по другим показателям (уклон, горизонтальная расчлененность и др.), каждый из типов районов распадается на подрайоны, а те, в свою очередь, на более детальные участки и т.д. В конечном счете, на очередном этапе появляется неделимая часть, которой соответствует элементарный фрагмент морфокомплекса с характерным сочетанием генетически близких форм. Таким образом строится ветвящаяся схема последовательных классификаций. Для каждой точки ветвления подбираются наиболее эффективные морфометрические показатели или их сочетания. Данная последовательность реализуется путем построения по выделенным участкам масок, выделения из дальнейшего анализа неделимую часть. Соответственно, на каждом последующем шаге уменьшается пространство распознавания и количество выделяемых классов рельефа.

Необходимые алгоритмы реализованы в специальных пакетах программ типа ENVI и ERDAS, работающих только с растровыми форматами. Поэтому построенные в ArcGIS 9.3 морфометрические показатели нормируются на максимумы и из сеточного формата GRID конвертируются в формат TIF. Затем изображения подгружаются в виде каналов в программный пакет ENVI 4.5, где проводится управляемая классификация с обучением. На основе разработанной дихотомической схемы применяется не общая классификация для всех морфокомплексов сразу, а ветвящаяся серия классификаций, как это уже было описано выше.

Классификация с обучением предваряется выбором типов рельефа (наиболее распространенные сочетания типовых форм), которые предполагается выделить. Далее происходит обучение классификатора. Сначала задаются наборы морфометрических показателей для выделяемых объектов. Затем, для обучения выбираются эталонные участки из областей рельефа, наиболее однозначно интерпретируемых по данным государственного геологического картирования, литературным источникам, авторским полевым работам. После этого автоматически распознаются территории со схожими значениями морфометрических показателей. В нашем случае в качестве процедур распознавания использовались методы расстояния Махалланобиса и минимального расстояния [9].

Результаты исследования

Для иллюстрации методики был выбран участок Барабинской слабоволнистой гривно-озерной равнины. По сравнению с территорией Чуйской котловины [8], рельеф Венгеровского района менее контрастен и содержит ограниченный набор форм рельефа: гривы, лощины, озерные котловины, озеровидные расширения, полого-равнинный водораздел, в различной степени осложненный изометричными и удлиненными холмами, а также суффузионно-просадочными западинами. Высота гряд варьирует от 3 до 12 м, ширина 0,3–1 км, длина 2–8 км. Озерные поверхности представлены днищами современных и древних котловин, размеры которых в поперечнике достигают от нескольких сот метров до нескольких километров, а в некоторых случаях существенно превышают 10 км. Речные русла и террасы относительно узкие и, если не включать в них озеровидные расширения, сколько-нибудь значительной территории в районе не занимают.

На протяжении более чем столетнего изучения рельефа юга Западной Сибири высказывалось много разнообразных теорий о его происхождении. Однако, большинство из них можно свести в две группы: субаквальная и эоловая. В конце 80-х гг. XX в. широкую популярность приобрела концепция мансийского озера-моря, возникавшего за счет подпруживания Оби и Енисея на севере во время оледенений [10]. Это объясняло наличие большого количества “остаточных” палеоозерных котловин, которые занимают площадь, на порядок превышающую таковую современных озер юга равнины. По поводу гривного рельефа существует оригинальная теория их образования за счет гидросферной катастрофы, в ходе которой гигантские объемы воды выплеснулись из-под Арктического ледникового суперпокрова и оставили следы на обширной территории [11]. Наиболее общепринятой концепцией происхождения гряд является эоловая [12]. Авторы объяснительной записки к карте четвертичных отложений [13] также придерживаются гипотезы об эоловом происхождении гряд. Таким образом, проблема геоморфологического картографирования изучаемого нами района сводится к выделению палеоозерных котловин, эоловых гряд и водораздельных участков, в разной степени нарушенных суффузионными, дефляционными и делювиальными процессами. Для автоматического картографирования нами использовались оба способа, изложенные в методике.

Рассмотрим первый способ выделения морфокомплексов – по удельному площадному соотношению типовых форм. Современные озера проявились по нулевому значению углов и азимутов как абсолютно плоские участки. Озерные котловины и приречные озеровидные расширения выделились на основе статистического распределения значений диапазона углов. В то время как для гряд, имеющих доминирующую СЗ ориентировку, выделялись две грани по азимутальным характеристикам. Однако при верификации посредством анализа теневой модели рельефа и собственно ЦМР выяснилось, что автоматически закартировано оказалось только около 80% гряд, т.е. наиболее четко выраженные и протяженные. Мелкие невысокие гривы оказались сходными с изометричными и слабоудлиненными холмами. Следует отметить, что такие мелкие формы рельефа также не были выделены и на картах государственной геологической съемки [13].

После того, как все формы были выделены (рис. 2), подбирался размер окна, отражающий густоту распространения этих форм. В связи с тем, что озерные поверхности и гривы имеют достаточно крупные размеры, радиус окна составил 10 км. В скользящем окне указанного размера были построены две плотностные карты, оконтуривающие области распространения гряд и озерных поверхностей, соответственно. Так как гривы нередко продолжают на днищах котловин, а древние озерные поверхности “проникают” в межгрядные пространства, значительная часть рельефа является комплексной. При наложении плотностных карт гряд и озерных поверхностей были получены контуры гривно-озерного рельефа.

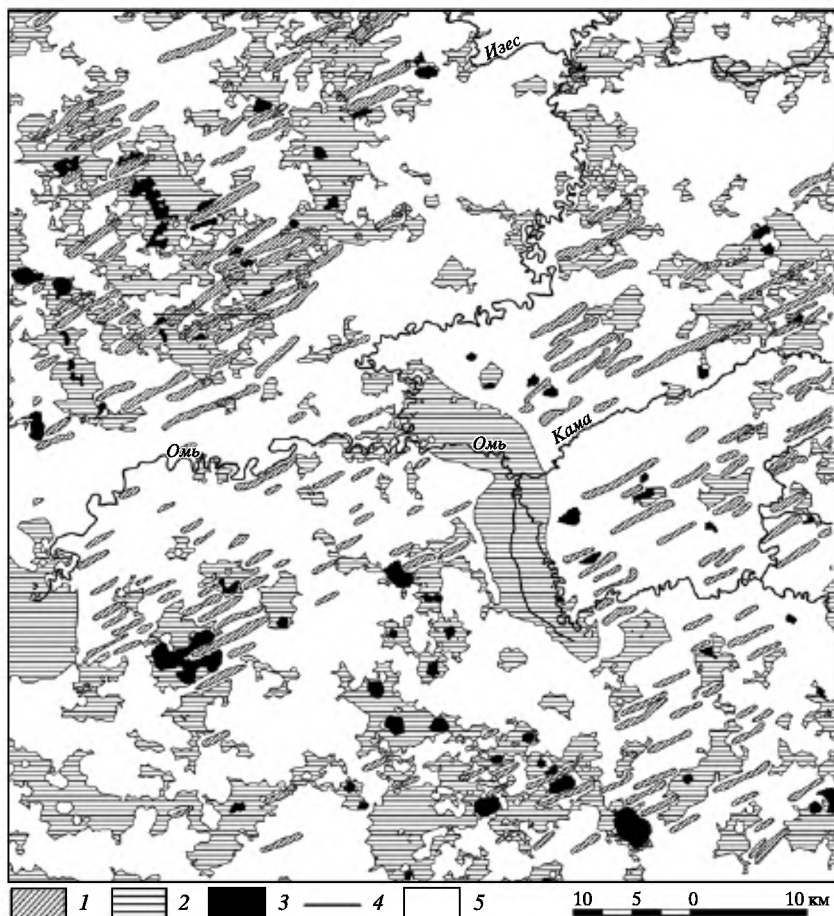


Рис. 2. Схема форм рельефа эталонного участка Венгеровского района, выделенных на основе статистического анализа морфометрических показателей

1 – гривы, 2 – древние озерные котловины и приречные озеровидные расширения, 3 – современные озера, 4 – реки, 5 – полого-равнинная поверхность

Параллельно картографирование озерного, гривного, озерно-гривного и равнинного морфокомплексов проводилось на основе управляемых классификаций (второй способ на технологической схеме рис. 1). Радиус скользящего окна для построения морфометрических показателей составил 5 км, что меньше, чем размер скользящего окна, отражающего густоту распространения форм в первом случае. Это вызвано тем, что в рамках первого подхода мы анализируем сочетания отдельных форм, а в рамках второго – рассматриваем некоторые усредненные на определенном пространстве типы рельефа. Для этого наиболее эффективными оказались средние значения углов и плотность ребер рельефа. Последний показатель является аналогом горизонтальной расчлененности рельефа [14] и был рассчитан как производная первого порядка по азимутам падения склонов. Условно усредненные в окне значения углов сходны с вертикальной расчлененностью. В связи со спецификой территории, дополнительно были построены еще два показателя: среднее значение относительных превышений высот и плотность линейных структур. Относительные превышения высот были получены путем вычитания из ЦМР средних высот, рассчитанных в скользящем окне размером 5 км. Это было необходимо для устранения влияния структур других порядков, (например, увалов и гигантских ложбин палеостока). Плотность линейных структур

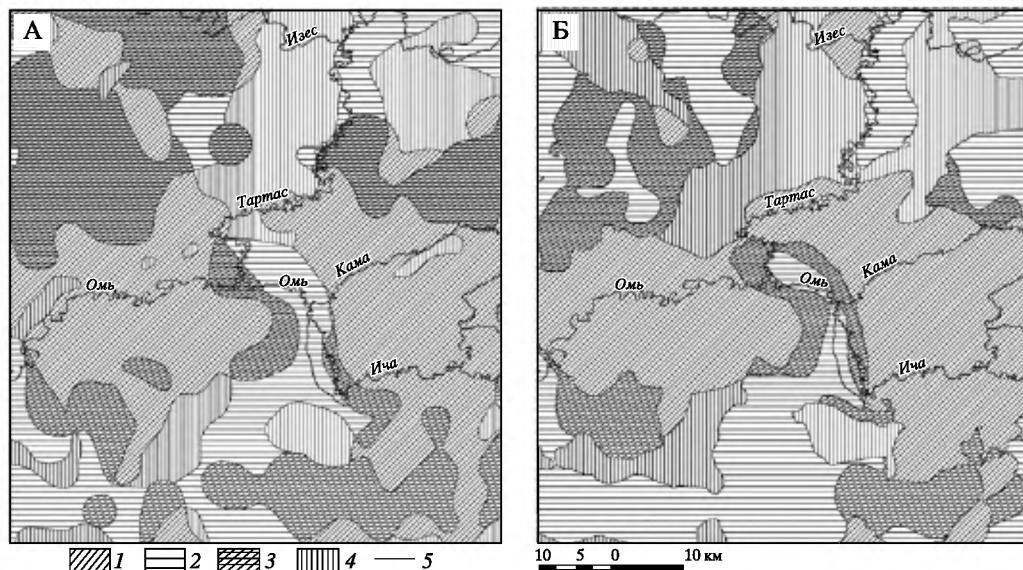


Рис. 3. Морфокомплексы эталонного участка Венгровского района, полученные в результате определения площадного соотношения форм (А) и управляемых классификаций (Б)

Морфокомплексы: 1 – гривный, 2 – озерный, 3 – гривно-озерный, 4 – полого-равнинный; 5 – реки

получена на основе их выделения по теневой модели рельефа с направлением освещенности перпендикулярно гривам.

По вертикальной и горизонтальной расчлененности территория разделилась на две части. Первая включала в себя расчлененные участки – водораздел и гривы, вторая – менее расчлененные – озерный тип рельефа и комплексный гривно-озерный тип. Водораздельные пространства по расчлененности схожи с гривами, но не являются линейно-вытянутыми. Поэтому для их разделения использовались средние значения углов и показатель линейности. Вторая группировка типов рельефа была разделена достаточно легко также по этим показателям.

На рис. 3 показаны две итоговые схемы морфокомплексов, построенные двумя разными способами, детально рассмотренными ранее (рис. 1). В общих чертах они похожи. Расхождение возникает в тех случаях, когда, например, гривный рельеф переходит в гривно-озерный и т.п., т.е. в граничных зонах между разными морфокомплексами. Кроме того, первый способ построения чувствителен к единичным формам, следовательно, в месте, где встречается всего лишь одна достаточно крупная гряда, будет обязательно выделен локальный участок гривного типа рельефа. Если разбивать территорию на более дробные части по удельному соотношению площадей, а при подборе эталонных полигонов также учитывать разные площадные соотношения форм, можно добиться сходства результатов обоих методов и получить наиболее адекватные схемы морфокомплексов.

Заключение

Разработанная методика позволяет существенно снизить трудоемкость геоморфологических работ и автоматизировать выделение форм рельефа и морфокомплексов. При данном подходе используются типовые алгоритмы, реализованные в достаточно популярных программных пакетах ENVI и ArcGIS. В связи с этим предложенные технологические последовательности являются простыми в освоении и тиражируемыми. В заключение подчеркнем, что подход ориентирован на распознавание и автоматическое оконтуривание форм и типов рельефа с помощью ГИС-технологий, а предшествующая этому непосредственная историко-генетическая диагностика опирается на методы классической геоморфологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морфология рельефа // М-лы Иркутского геоморфологич. семинара. Чтения памяти Н.А. Флоренсова. Иркутск: ИЗК СО РАН, 1999. 95 с.
2. Степанов И.Н., Лошакова Н.А., Саталкин А.И., Андропова М.И. Составление почвенных карт с использованием системного картографического метода – пластики рельефа // Метод пластики рельефа в тематическом картографировании. Пушино: НЦБИ АН СССР, 1987. С. 7–22.
3. Ласточкин А.Н. Методика морского геоморфологического картографирования. Л.: Недра, 1982. 272 с.
4. Ласточкин А.Н. Геоморфологические исследования при поиске и разведке железо-марганцевых конкреций // Сов. геология. 1985. № 12. С. 70–83.
5. Симонов Ю.Г. Современное состояние использования идей фрактальной геометрии в геоморфологии // Теория геоморфологии и ее приложение в региональных и глобальных исследованиях. Иркутский геоморфологический семинар, 20–24 сентября 2010 г. www.geomorphology.ru/images/upload/articles692/184.pdf, С. 33–35.
6. Зольников И.Д., Лямина В.А., Королук А.Ю. Комплексная технология картографирования и мониторинга гетерогенных ландшафтов // География и природные ресурсы. 2010. № 2. С. 126–131.
7. Prima O.D.A., Echigo A., Yokoyama R., Yoshida T. Supervised landform classification of Northeast Honshu from DEM-derived thematic maps // *Geomorphology*. 2006. № 78. P. 373–386.
8. Чутина Д.А., Зольников И.Д., Лямина В.А. ГИС-картографирование морфокомплексов Чуйской котловины на основе морфометрических характеристик // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. Новосибирск: СНИИГИМС, 2012. № 2. С. 96–103.
9. Зольников И.Д., Лямина В.А., Глушкова Н.В. Основы использования технологий ГИС и ДЗ при решении типовых задач геологии и геоэкологии: Уч. пособие. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2011. 94 с.
10. Архитов С.А., Астахов В.И., Волков И.А. и др. Палеогеография Западно-Сибирской равнины в эпоху позднеледникового максимума. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. 110 с.
11. Гроссвальд М.Г. Евразийские гидросферные катастрофы и оледенение Арктики. М.: Науч. мир, 1999. 117 с.
12. Волков И.А. Роль эолового фактора в эволюции рельефа // Проблемы экзогенного рельефообразования. Кн. 1. Рельеф ледниковый, криогенный, эоловый, карстовый и морских побережий. М.: Наука, 1976. С. 264–288.
13. Домникова Е.И., Моторин В.В., Шевчук И.Ф. Государственная геологическая карта СССР. М-6 1:200000. Сер. Кулундинско-Барабинская. Лист N-43-V. Объяснит. записка. М.: 1983.
14. Глушкова Н.В., Лямина В.А., Зольников И.Д. и др. Использование ЦМР для решения задач четвертичной геологии и геоморфологии Сибири // Квартер во всем его разнообразии. Фундаментальные проблемы, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований / М-лы VII Всерос. совещ. по изуч. четвертич. периода. Апатиты–СПб.: Геол. ин-т КНЦ РАН, 2011. Т. 1 (А–К). С. 131–134.

Поступила в редакцию 12.03.2013

AN AUTOMATIC IDENTIFICATION OF LANDFORMS AND THEIR COMPLEXES BASED ON GIS ANALYSIS OF MORPHOMETRIC PARAMETERS (VENGEROVSK AREA OF NOVOSIBIRSK REGION AS AN EXAMPLE)

D.A. CHOUPINA

Summary

The author suggests an approach to automatic geomorphological zoning by relief types. The method is based on a combination of standard techniques of grid analysis (software package ArcGIS 9.3) and pattern recognition methods (supervised classification) widely used for processing multispectral satellite images (software package ENVI 4.5). The initial data are morphometric characteristics obtained from SRTM by means of moving average. There are two alternative ways of morpho-complexes schemes compiling. In the first case discrete landforms are derived by morphometric parameters, and morpho-complexes are then delineated by their areas ratio in a moving window. In another case, the morphometric parameters are loaded into the software ENVI 4.5 as channels, where supervised classification is performed. The sites which are definitely diagnosed by their historical and genetic aspects serve as a model area. The resulting morpho-complex schemes show a good agreement. The proposed approach is easy to learn. It also significantly reduces the complexity and routine work duration in geomorphological mapping.