

ОПЫТ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОРФОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДОЛИННЫХ ГЕОСИСТЕМ НИЖНЕГО ПРИТОМЬЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА

Рассмотрен пример автоматизированного морфометрического анализа ландшафтов долины нижней Томи на основе цифровой модели рельефа. Предложена методика расчёта средних уклонов геосистем с использованием ГИС-технологий. Выявлены закономерности в распределении средних уклонов в зависимости от абсолютной высоты участков речной долины.

Одной из важнейших задач при изучении ландшафтной структуры речных долин является анализ ключевых морфометрических показателей долинных геосистем. Применение геоинформационных систем (ГИС) и цифровых моделей рельефа (ЦМР) позволяет значительно углубить и детализировать такой анализ.

Цифровая модель рельефа долины нижней Томи создавалась с помощью модуля ArcGIS 3D Analyst (ESRI Inc.) методом триангуляции Делоне. При этом в качестве исходных данных использовались оцифрованные с топографических карт масштаба 1: 25 000 горизонтали (всего 3 338 линий) и высотные отметки, включая урезы воды (всего 3 374 точки). В качестве дополнительных данных использовались полигональные и линейные объекты гидросети (всего 1 310 линий и 842 полигона), а также контуры озёр с известным урезом воды (всего 185). Объекты гидросети использовались при расчёте ЦМР как линии явного перегиба рельефа (рёбра треугольников), а полигоны озёр с известным урезом воды – как плоские поверхности замещения одной высотой. В результате была построена нерегулярная триангуляционная сеть (TIN), состоящая из 1 042 373 треугольников с диапазоном абсолютных высот от 67,8 до 195 м. TIN являет собой компьютерную базу данных (34,7 Мб) по рельефу долины нижней Томи, где помимо высот для каждого треугольника сети хранится информация об угле наклона и экспозиции склона.

На основе ЦМР впервые для долины нижней Томи построена серия крупномасштабных карт ключевых показателей рельефа: гипсометрическая карта, карты кру-

тизны и экспозиций склонов (рис. 1–2, на вклейке), что позволило провести углубленный морфометрический анализ. Для этого полученные карты были конвертированы в растры формата GRID, представляющие собой регулярные сетки с шагом 10 м. В результате стала доступна «алгебра» растровых карт и детальный анализ рельефа по ячейкам 10x10 м. Этот анализ показал, что наибольшие площади в долине (25,9%) занимают участки с абсолютными высотами менее 80 м. В большинстве своём данные участки относятся к зоне затопления, что свидетельствует о преобладании поймы над остальными элементами рельефа речной долины Томи. Существенная доля участков выше 120 м (15,6%) объясняется тем, что ЦМР захватила часть высокого междуречного склона на правобережье.

Классификация углов наклона была выполнена согласно рекомендациям геоморфологического картографирования равнинных территорий [1–4]. Более половины площади долины нижней Томи (57,4%) составляют практически плоские участки с углами наклона менее 0,3° (табл. 1). Доля участков с крутизной склонов более 60° крайне мала (0,005%). В зависимости от экспозиции склонов все ячейки ЦМР были классифицированы по восьми румбам. В долине преобладают выровненные поверхности с практически нулевым уклоном без выраженной экспозиции (35,2% всей площади) и участки с уклонами северо-западной (10,4%) и западной (10,2%) экспозиции (табл. 1), что объясняется общим небольшим наклоном долины на северо-запад, а также большей площадью правобережья с господствующими склонами западной экспозиции [5].

Таблица 1

Соотношение площадей участков долины нижней Томи с разными морфометрическими показателями

Абсолютная высота, м	Доля, % от общей площади	Угол наклона, град.	Доля, % от общей площади	Экспозиция склонов	Доля, % от общей площади
менее 80	25,9	0–0,3	57,4	С	8,1
80–90	16,5	0,3–1	23,2	СВ	6,5
90–100	15,4	1–3	13,4	В	7,6
100–110	11,7	3–5	2,7	ЮВ	8,2
110–120	14,9	5–11	2,3	Ю	6,5
более 120	15,6	11–30	0,9	ЮЗ	7,2
		30–60	0,05	З	10,2
		более 60	0,005	СЗ	10,4
				нет (угол <0,1°)	35,2

На равнинных участках речных долин обычно наблюдается определённая взаимосвязь между абсолютными высотами и уклонами, так как уступы террас, как правило, находятся на одних и тех же абсолютных отметках. Для проверки этого был выполнен пространственный анализ гипсометрической карты по углам на-

клона на нижнем участке долины (как наиболее «равнинном»). С помощью модуля ArcGIS Spatial Analyst была проведена переклассификация растра (сетки) высот на зоны по 1 м высоты. Путём зональной статистики полученного растра был вычислен средний уклон для каждого диапазона высот (табл. 2).

Средние уклоны долины Томи на нижнем участке по диапазонам высот

Абсолютная высота, м	Средний уклон, град.
67,8–68	0,040
68–69	0,438
69–70	0,044
70–71	1,809
71–72	1,940
72–73	0,465
73–74	0,979
74–75	0,343
75–76	0,607
76–77	1,043
77–78	0,696
78–79	1,252
79–80	0,404
80–81	0,904
81–82	0,905
82–83	0,592
83–84	1,413
84–85	0,631
85–86	1,115
86–87	1,296
87–88	0,764
88–89	1,327
89–90	0,213
90–91	0,490
91–92	0,493
92–93	0,369
93–94	0,421
94–95	0,444
95–96	1,299
96–97	1,328
97–98	1,049
98–99	1,257
99–100	0,721
100–101	1,191
101–102	1,513
102–103	0,900
103–104	0,893
104–105	0,839
105–106	0,767
106–107	0,711
107–108	0,620
108–109	0,531
109–110	0,353
110–111	0,955
111–112	1,099
112–113	0,852
113–114	1,175
114–115	0,780
115–116	0,777
116–117	0,861
117–118	0,768
118–119	0,974
119–120	0,758
более 120	0,953

При анализе табл. 2 заметны пять явных уступов рельефа со средними уклонами более 1° (выделены серым цветом). На абсолютных отметках до 70 м небольшие уклоны объясняются преобладанием плоских участков прирусловых отмелей. На абсолютных высотах 70–72 м наблюдается резкое увеличение средних уклонов, связанное, по-видимому, с небольшим уступом центральной поймы. На абсолютных высотах 76–79 м вновь наблюдается увеличение средних уклонов – уступ первой надпойменной террасы Томи. Участки с абсолютными высотами (79–83 м) характеризуются

большой амплитудой средних уклонов (но все менее 1°), что объясняется фрагментарностью первой надпойменной террасы в низовьях Томи. Очень чётко выражена вторая надпойменная терраса. Её уступ выделяется резким ростом средних уклонов на абсолютных высотах 83–89 м. Также резко выделяется площадка второй террасы на абсолютных высотах 89–95 м с очень небольшими средними уклонами (менее $0,5^\circ$). Сильное увеличение средних уклонов на абсолютных высотах 95–102 м свидетельствует об уступе третьей надпойменной террасы. Для площадки третьей над-

пойменной террасы характерно плавное снижение средних уклонов на абсолютных высотах 102–110 м. С абсолютных высот 110–111 м начинается склон между речной равнины, имеющий с ростом высоты практически постоянный средний уклон 0,8–0,9°.

Таким образом, в результате взаимного пространственного анализа карт важнейших морфометрических показателей на нижнем участке долины Томи подтвердился вывод о тесной взаимосвязи абсолютной высоты участков долины со средним уклоном этих участков. Это значит, что с помощью автоматизированного морфометрического анализа можно существенно облегчить предварительное выделение высотных границ геоморфологических элементов речной долины, окончательная дифференциация которых должна обязательно проводиться с учётом материалов полевых исследований, карты четвертичных отложений, описаний геологических скважин и данных дистанционного зондирования.

В программе ArcScene ГИС-пакета ArcGIS на основе ЦМР была создана трёхмерная модель долины нижней Томи (рис. 3). При увеличении вертикального

масштаба в пять–десять раз относительно горизонтального на такой модели отчётливо видны резкие перепады и уступы рельефа (рис. 3 и 4, на вклейке). Трёхмерная модель была драпирована топоосновой и аэрокосмическими снимками (рис. 5, 6, на вклейке).

В результате наложения цифровой ландшафтной карты на ЦМР с помощью модуля ArcGIS Spatial Analyst была рассчитана зональная статистика для долинных геосистем ранга урочищ по карте крутизны склонов и определён средний уклон каждого урочища, что позволило оценить степень дренированности геосистем и снизить субъективизм при характеристике рельефа в названии урочища. Так, урочища со средним уклоном менее 0,2° были определены как плоские участки, 0,2–0,5° – как выровненные и более 0,5° – как пологонаклонные. На основе анализа средних углов наклона геосистем был сделан вывод о лучшей дренированности геосистем верхнего участка долины нижней Томи (г. Томск – с. Ярское), где средний уклон геосистем составил 0,92° против 0,58° у геосистем нижнего участка (г. Северск – устье Томи).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Геоморфологическое* картирование. М.: Высш. шк., 1977. 375 с.
2. *Заславский М.Н.* Эрозиоведение. М.: Высш. шк., 1987. 376 с.
3. *Евсеева Н.С., Земцов А.А.* Рельефообразование в лесоболотной зоне Западно-Сибирской равнины. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1990. 242 с.
4. *Морфология* рельефа / Г.Ф. Уфимцев, Д.А. Тимофеев, Ю.Г. Симонов и др. М.: Научный мир, 2004. 184 с.
5. *Хромых В.В., Хромых О.В.* Морфометрический анализ долины Томи на основе ArcGIS 3D Analyst и Spatial Analyst // Матер. XII Междунар. конф. в Голицыно пользователей программных продуктов ESRI и Leica Geosystems в России и странах СНГ [Электронный ресурс]. М., 2006. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM, бум. вариант, 2 с.).

Статья представлена кафедрой географии геолого-географического факультета Томского государственного университета, поступила в научную редакцию «Науки о земле» 27 ноября 2006 г., принята к печати 4 декабря 2006 г.