

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ РАДАРНОЙ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ МОРФОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА СРЕДНЕГОРНОГО РЕЛЬЕФА

О. В. Жаворонкин

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 9 марта 2010 г.

**Аннотация.** В работе рассмотрена проблема возможности проведения морфоструктурного анализа на основе стохастических моделей, построенных по данным радиолокационной съемки.

**Ключевые слова:** геоморфология, морфоструктурный анализ, стохастические модели рельефа, SRTM.

**Abstract.** The paper considers the problem of the possibility of morphostructure analysis based on stochastic models, built according to the radar survey.

**Key words:** geomorphology, morphostructure analysis, relief stochastic models, SRTM

В современном спектре методов изучений геологической структуры значительное место занимает морфоструктурный анализ, результатом проведения которого являются данные различной детальности о тектонике изучаемой территории. Главную роль при морфоструктурных построениях играет анализ морфометрических материалов – изучение количественного соотношения форм рельефа (высоты, площади, величины наклона склонов и т. д.). При этом наибольшего внимания заслуживают математические модели, опирающиеся на различные вычислительные методы, в том числе и на стохастические, строящиеся на фундаментальных понятиях теории вероятности и математической статистики [1]. На сегодняшний день большинство формируемых моделей базируется на использовании материалов ранее проведенных съемок, представленных в виде топографических карт, схем, разрезов и т. д. Низкая доступность таких материалов на значительные территории, неполнота данных и трудоемкость обработки значительно снижают качество получаемых моделей. В связи с этим важное научное и методическое значение при моделировании рельефа в рамках морфоструктурных исследований имеет анализ возможности расширения набора исходных данных, на которых базируется построение различных моделей.

Одной из альтернатив использованию результатов традиционной топографической съемки может стать построение моделей современного рельефа на

основе данных радарной топографической съемки, проведенной в 2000 г. с борта космического аппарата «Шатл». Используя метод радарной интерферометрии, специалисты NASA собрали огромное количество данных о рельефе Земли (за исключением самых северных (> 60 с. ш.), самых южных широт (> 54 ю. ш.), а также океанов). Ее обработка продолжается до настоящего времени, но определенное количество этих данных уже доступно широкому кругу исследователей. Существует несколько версий представляемых данных, отличающихся детальностью и методами обработки. Наиболее востребованным и свободно распространяемым является формат SRMT-2, представляющий собой набор матриц  $1201 \times 1201$ , привязанных к квадрату размером один градус на поперек Земли. При этом по спецификации NASA размер каждого элемента в среднем составляет 90 м [2, 3].

Анализ возможности применения данных радарной топографической съемки для построения моделей рельефа проводился путем сравнения результатов стохастического моделирования на основе топографических данных, полученных традиционным способом и на основе анализа материалов SRTM. В качестве полигона была выбрана территория Юго-Западного Забайкалья, что продиктовано сложностью строения и разнообразием форм рельефа этого участка [4]. Район имеет прямоугольную форму и простирается с севера на юг от озера Байкал до государственной границы с Монгольской Народной Республикой.

Стохастические модели современного рельефа, построенные по «традиционным» материалам,

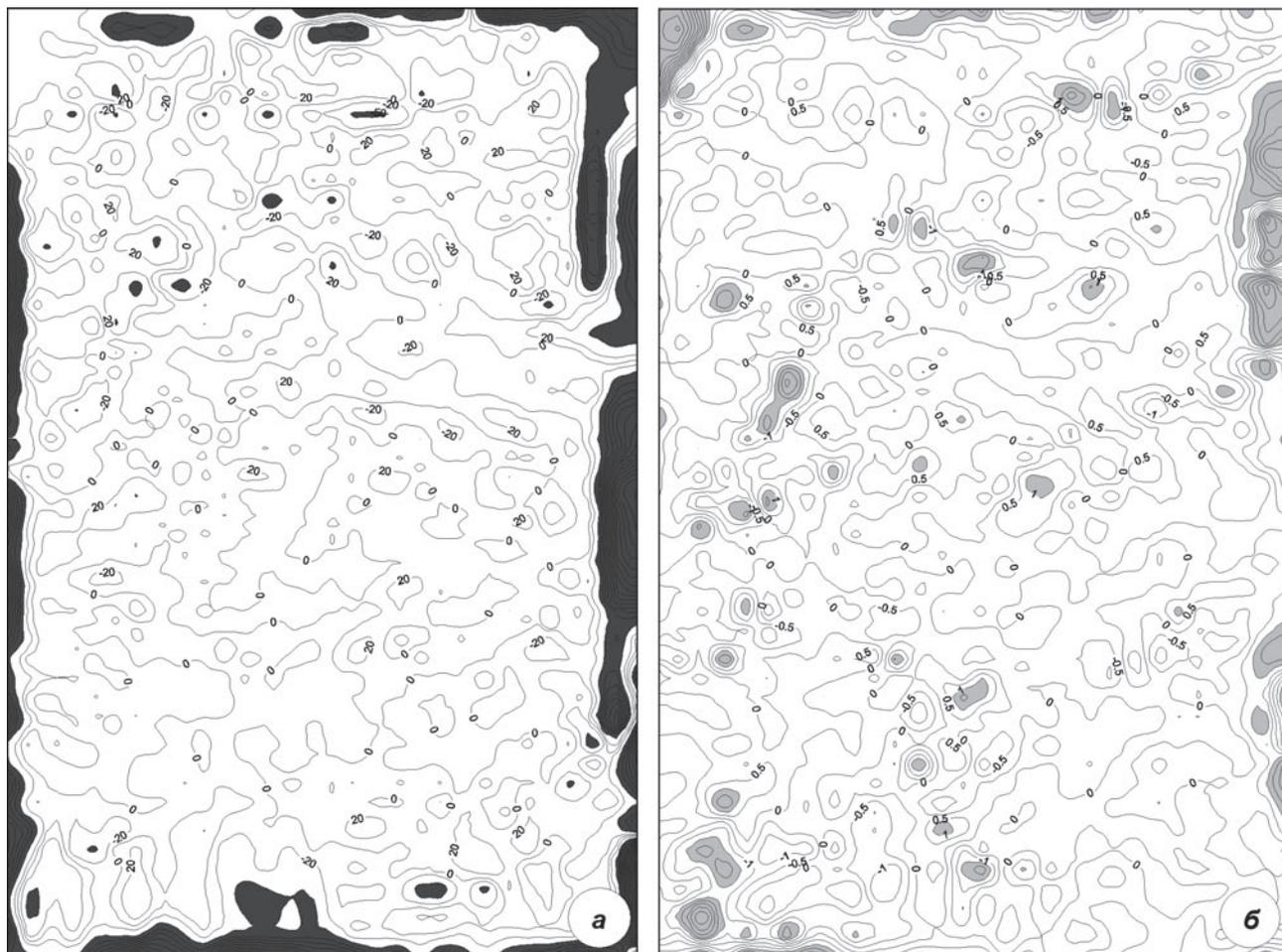
базировались на оцифрованных топографических основах масштаба 1 : 200 000 (листы М-48-V, М-48-VI, М-48-XI, М-48-XII, М-48-XVII и М-48-XVIII), а также наборах высотных отметок и отметок урезов воды. Модели, основанные на данных радарной интерферометрии, формировались по материалам SRTM-2 (матрицы N50E106, N50E107, N51E106, N51E107). Для топографической карты плановая точность составляет 0,5 мм, а высотная точность – 1/2 сечения рельефа. В рамках данной работы использовались топографические карты масштаба 1 : 200 000, поэтому необходимая плановая точность составляет 100 м, а высотная точность – 20 м. Объявленная NASA точность материалов SRTM составляет также 20 м. В обоих случаях были построены карты распределения следующих стохастических параметров: минимальное, среднее и максимальное значение высот, дисперсия, асимметрия и эксцесс. Поскольку статистические характеристики высоты рельефа не могут быть получены для одной величины, то для их расчета используют окно трансформации, в данном случае размером 5 × 5 км. Для расчетов применялся метод скользящего окна, при этом вновь вычисленный параметр относился к центру окна трансформации.

При морфометрическом толковании карта минимальных высот является картой базисной поверхности, а карты средних и максимальных высот – картами срединной и вершинной поверхностями рельефа. Дисперсия является величиной вертикального расчленения рельефа в рамках окна трансформации [5]. Кроме того, в стохастическом анализе помимо традиционных морфометрических величин могут быть использованы дополнительные, качественно новые геоморфологические параметры, такие как, например, асимметрия и эксцесс. Карта показателей асимметрии позволяет выявить динамику морфогенеза по соотношению преобладающих и средних высот. Положительные значения асимметрии распределения свидетельствуют о преобладании в рельефе высот меньших, чем средние, над высотами большими, чем средние. Такие соотношения характеризуют состояние выравнивания рельефа, снижение запасов его потенциальной энергии. Отрицательные значения асимметрии, наоборот, свидетельствуют об увеличении вертикального расчленения и, соответственно, роста потенциальной энергии, а ее нулевые значения – о равновесном состоянии морфогенеза [5]. Поскольку каждый из полученных стохастических параметров имеет четко определенную геоморфологическую интерпретацию, результаты сравни-

тельного анализа стохастических величин рельефа для рассматриваемых моделей можно эскалировать на морфометрические параметры в целом.

На рисунке приведены результаты вычитания карт распределения дисперсии и асимметрии высот современного рельефа, основанных на SRTM-данных из карт, полученных на основе традиционных топографических материалов. Проведенный анализ показал, что значительные расхождения рассчитанных параметров наблюдаются в периферических областях, что обусловлено несколько различной формой моделируемой по разным материалам территории. Кроме того, незначительные области повышенных значений приурочены к высокогорным районам с резко расчлененными формами рельефа, что, скорее всего, обусловлено несовпадением на плоскости локальных форм, вызванным погрешностями при переводе различных данных о высотах к единой системе географических координат и проекции. Частично незначительная разница высот может быть вызвана технологическими особенностями радарной съемки, которая измеряет не высоту земной поверхности, а наивысшую точку в блоке (деревья, техногенные объекты). При этом среднее абсолютное отклонение полученных моделей в значениях дисперсии высот около 10 м, для асимметрии – 0,2 м. Кроме того, следует отметить, что направления, форма и положение морфоструктур любых порядков на обеих моделях совпали.

Результаты сравнения стохастических моделей современного рельефа для территории Юго-Западного Забайкалья показали возможность использования материалов радарной топографической съемки для проведения морфоструктурных исследований среднегорных районов. Преимуществом использования SRTM-данных является их широкая доступность и достаточно высокая точность, а недостатком – локальные ошибки («артефакты»), связанные с методикой проведения радарной съемки и обработки результатов. Кроме того, для крайних полярных областей SRTM-данные отсутствуют. При этом для получения наиболее достоверных результатов необходимо использовать точные алгоритмы преобразования к единой системе координат и проекции, т. к. погрешность при смещении точки замера в плане дает значительно большую ошибку, чем погрешность измерения высоты, вызванная технологией получения радиолокационных данных. Кроме того, к незначительному увеличению точности формируемых моделей приведет использование данных о распространении лесных массивов при расчете стохастических показателей.



Масштаб 1 : 1 450 000



**Рис.** Карты разности стохастических параметров, рассчитанных на основе данных SRTM-2 и традиционной топографической съемки: а – дисперсия, б – асимметрия: 1 – области разности значений более 50 м; 2 – области разности значений (коэффициент асимметрии более 1)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Порядин В. С.* Стохастические модели в морфоструктурном анализе / В. С. Порядин. – М. : Недра, 1985. – 152 с.
2. The shuttle radar topography mission / Farr Tom G. [et al.] // CEOS SAR Workshop. Toulouse 26–29 Oct. 1999. – Noordwijk, 2000. – С. 361–363.
3. An Assessment of the SRTM Topographic Products / E. Rodríguez, C. S. Morris, J. E. Belz, E. C. Chapin, J. M. Martin, W. Daffer, S. Hensley

4. *Жаворонкин О. В.* Морфоструктура юго-западного Забайкалья / О. В. Жаворонкин // Труды молодых ученых ВГУ. – 2006. – Вып. № 1–2. – С. 118–123.

5. *Трегуб А. И.* Морфометрия современной поверхности и неотектоническая структура территории ВКМ / А. И. Трегуб, О. В. Жаворонкин // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геол. – 2000. – № 3. – С. 19–26.

Рецензент В. Н. Глазнев

*Воронежский государственный университет*  
*О. В. Жаворонкин, кандидат геолого-минералогических наук, преподаватель кафедры общей геологии и геодинамики*  
Тел. 8-903-650-22-68  
zhavoronkinov@mail.ru

*Voronezh State University*  
*O. V. Zhavoronkin, Candidate of Geology-Mineralogical Sciences, Lecturer Department of General Geology and Geodynamics*  
Tel. 8-903-650-22-68  
zhavoronkinov@mail.ru