

УДК 551.4.012

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ФРАКТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ БЕЛОМОРО-КУЛОЙСКОГО ПЛАТО.

Сергеев И.С.

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, Санкт-Петербург, igorsergeev.spb@gmail.com

Аннотация.

В исследовании рассматривается структура поверхности Беломоро-Кулойского плато в некоторых аспектах ее связи со структурой земной коры. Выявлены геометрические фрактальные свойства дискретных объектов земной поверхности – морфоблоков. На основе проведенных морфометрических наблюдений для Беломоро-Кулойского плато предложена модель плотностной структуры приповерхностной части земной коры.

Annotation.

The study examined the structure of the surface of the White Sea-Kuloi plateau in the aspects of its relationship with the structure of the Earth's crust. It identified geometrical fractal properties of the discrete morphoblok objects of the earth's surface. On the basis of morphometric observations of the White Sea-Kuloi plateau was modeled structure of the depth density in the Earth's crust.

Ключевые слова: структура земной поверхности, геоморфологические фракталы, геоинформационный анализ, цифровая модель рельефа.

Введение.

Важнейшими объектами, для структурных исследований в геоморфологии, являются водоразделы. Они рассматриваются, как структурные единицы поверхности, несущие информацию о тектонических движениях блоков земной коры [1]. Строгие морфометрические принципы современной геоморфологии [2,3] применяемые к анализу рельефа на предмет связи структуры земной поверхности и структуры консервативных оболочек Земли, позволяют делать значимые шаги в познании строения литосферы. Это выразилось в концепции слоисто-блокового строения земной коры [4], развития понимания иерархических уровней трещиноватости земной коры [5], применения понятия линеймент в прогнозно-поисковой геологии [6] и др. Таким образом, геоморфология одна из первых в семействе наук о Земле предложила к изучению фундаментальное свойство земной поверхности – структурность, как проявление процессов в тектоносфере Земли.

Для изучения структуры земной поверхности было выбрано Беломоро-Кулойского плато. Оно расположено на северо-востоке беломорского региона. Его основанием является тектонический мегаблок принадлежащий Восточно-Европейской платформе. В палеозое данная структура претерпела тектономагматическую активизацию и была инъецирована интрузивно-дайкивым комплексом рудоносных кимберлитовых пород [7]. Дайки прорывают раннепалеозойские платформенные отложения, венчающие их трубки взрыва, перекрываются осадочными породами позднего карбона. Четвертичный чехол незначителен и представлен морскими и ледниковыми комплексами малой

мощности. С самых общих геоморфологических позиций территория представляет собой структурно-денудационную слабохолмистую равнину с выраженной водно-эрозионной сетью и V-образными речными долинами, осложненными четвертичными террасовыми комплексами, свидетельствующими о неотектоническом, в основном, восходящем развитии.

Теория и методы.

Современные геоинформационные системы позволяют значительно оптимизировать процесс выделения структурной информации из массива данных представляющих исследуемый объект. Цифровая основа представления поверхности на основе данных космического сканирования Земли обладает (кроме других достоинств, например, точности, мобильности и пр.) информационной избыточностью. Например, в данном исследовании, применена цифровая модель (ASTER GDEM) [8] с разрешением около 15м. Для исследуемого района Беломоро-Кулойского плато – это около 20 млн. гипсометрических значений. Явная избыточность данных предоставляет бóльшую уверенность в дальнейших морфометрических построениях. Она основана на понимании того, что при большом количестве сканерных высотных значений, структура поверхности или ее каркас, могут быть с высокой степенью точности выделены путем автоматизированных тригонометрических вычислений в программных модулях ГИС [9], в отличие от ручной обработки топографических карт. В процессе подготовки рабочего растра было принято рабочее разрешение модели 150м. Это позволило создавать схемы в картографическом масштабе не хуже 1:150 000.

Рассмотрим геометрические свойства объектов земной поверхности обтекаемыми водотоками. По В.П. Философова – это остаточные формы рельефа, формирующие водораздельные поверхности разных порядков (масштабов): «Остаточный рельеф, начиная от высших порядков и кончая низшими, по-видимому в значительной мере соответствует плотностным неоднородностям тектоносферы... Остаточный рельеф низших порядков связан с пониженной плотностью горных пород, слагающих верхнюю часть земной коры, а остаточный рельеф высших порядков приурочен к районам с пониженной плотностью пород земной коры на большой глубине... Стойкость пород к процессам площадной денудации сказывается лишь на формировании микроформ явного остаточного рельефа, почти не проявляясь в мезо- и макроформах рельефа и не оказывая влияния на скрытый остаточный рельеф всех порядков. Наличие остаточного рельефа обычно обусловлено структурными особенностями земной коры...» [1, стр.83-84]. Используя это найдем границы остаточных форм рельефа. Для простоты назовем их морфоблоками.

Воспользуемся стандартными функциями обработки растровых моделей в среде ArcGIS, предусмотренных в инструментальном пакете «Гидрология» (Hydrology) [9]. Первый этап: выполним инверсию исходного растра. Это нужно для достижения нашей цели – выделения локальных положительных форм поверхности, т.к. в гидрологическом модуле имеется функция по выделению бассейнов, которые являются локальными отрицательными формами поверхности. Второй этап: обработка растра на предмет определения направления стока для инверсной поверхности. Она выполняется при помощи функции

«Направление потока» (Flow direction). Данная функция создает, на основе тригонометрических соотношений между взаимным расположением ячеек ЦМР и разности их высотных значений, новый растр со значением ячеек азимутальных направлений локальных уклонов (экспозиции) по восьми румбам. Полученная информация показывает направление токовых векторов поверхности. Они будут сходиться в самых низких местах поверхности по гидрологическим правилам, но так как применена инверсная поверхность, то схождения токовых векторов выявят самые высокие точки локальных положительных частей земной поверхности или морфоблоков. Тогда как точки дивергенции токовых векторов инверсной гипсометрической поверхности укажут на положение килевых линий рельефа на исходной поверхности – т.е. границ морфоблоков. Применение подобной «векторной логики» организовано в инструменте «Бассейн» (Basin) и выполняется третьим этапом. Четвертый этап – это преобразование растровой «морфоблочной мозаики» в полигональные объекты в соответствующем модуле, в дальнейшем, это позволит анализировать выделенные морфоблоки как единое множество дискретных объектов. Схема выделения морфоблоков на основе потоковых векторов показана на рис.1.

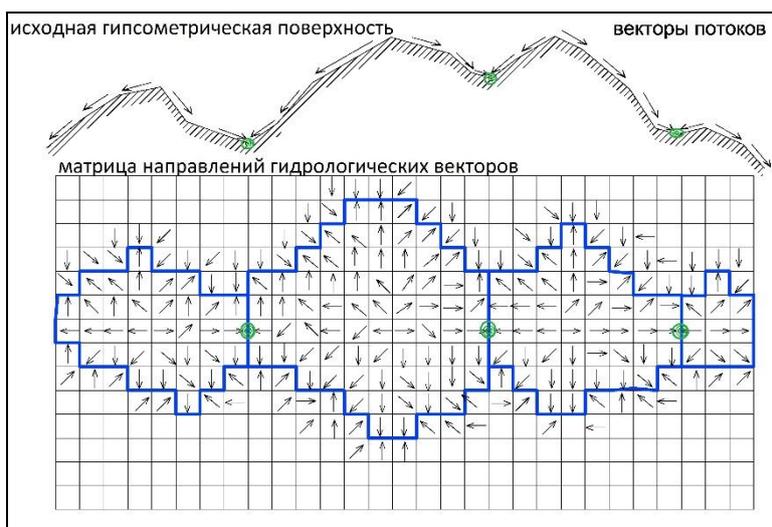


Рис.1. Принцип потокового определения границ морфоблоков.

Результаты и обсуждение.

Предложенный подход определяет, что элементарным дискретным объектом земной поверхности может выступать морфоблок – замкнутая положительная форма рельефа, в плане, ограниченная килевой линией. Морфоблок имеет следующие морфометрические характеристики: периметр границы - P , площадь поверхности - S и относительное превышение. Приведенное выше, казалось бы, формализованное выделение морфоблоков приводит к следующим важным замечаниям:

а) любой морфоблок имеет центральную симметрию – любая точка морфоблока, не принадлежащая его границе принадлежит выпуклой части его поверхности; отсюда следует, что плотность вещества морфоблока падает (объем растет) к его центральной части.

б) центральная часть морфоблока с относительно пониженной плотностью характеризуется определённой глубиной заложения, т.е. имеет границы не только по латерали, наблюдаемые на дневной поверхности, но и по вертикали и функционально связанные с последними. Это позволяет, со значительной долей уверенности, за морфоблоковой структурой проследить, прежде всего, глубинное тектоническое строение в рассматриваемом масштабе.

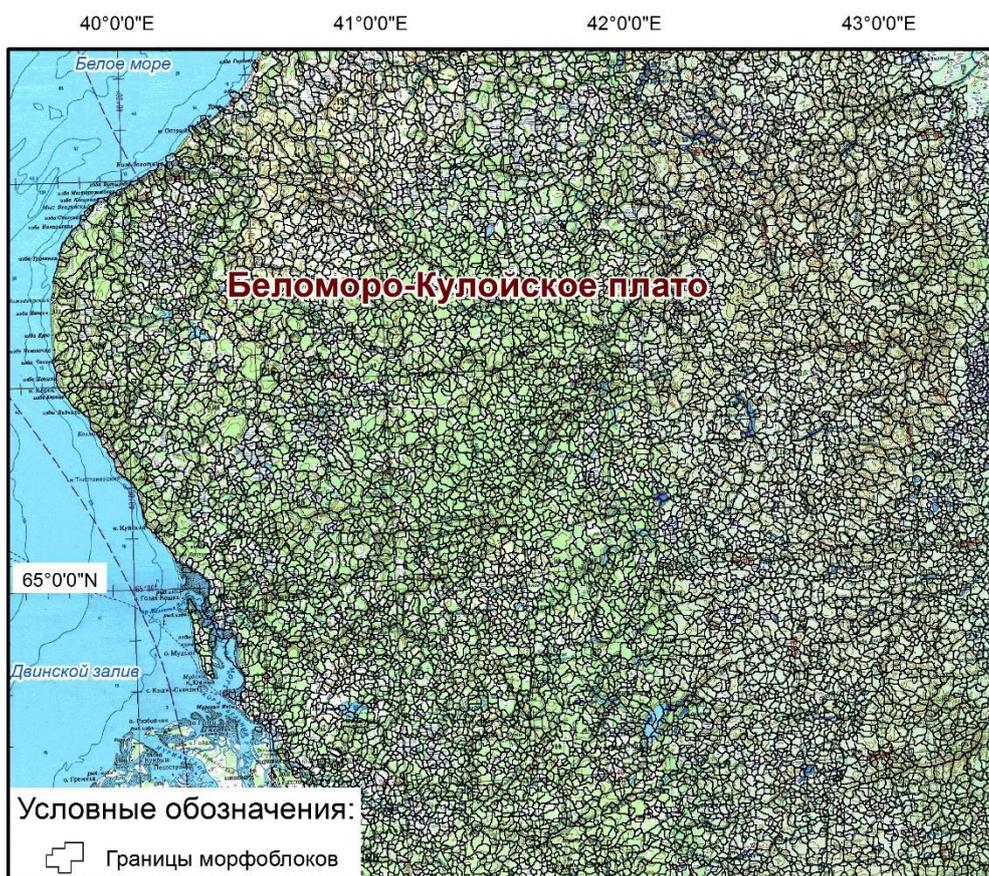


Рис.2. Структура поверхности Беломоро-Кулойского плато по данным ГИС-анализа (наложена на топографическую карту исследуемого района [10]).

Таким образом, в выявленной морфоблоковой структуре земной поверхности возможно проследить верхнекоровые глубинные неоднородности. Для этого определим геометрические свойства выявленных структурных единиц земной поверхности. Используем взаимоотношения периметров и площадей морфоблоков. Построим соответствующий аппроксимационный график, рис.3. Для полученного множества морфоблоков (рис.2) имеется зависимость периметра от площади этих объектов, показанная в виде графика на рис.3. Данное распределение имеет вполне четкие границы и описывается графиком степенной функции:

$$P=2,1525 S^{0,5622} . \quad (1)$$

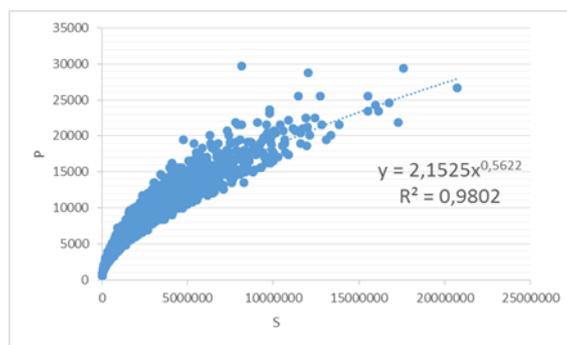


Рис.3. Степенная зависимость периметра морфоблоков от площади. Y- периметр, X-площадь, R-коэффициент корреляции.

График указывает на наличие нелинейного лимитирующего фактора – протяженность границ нелинейно зависит от площади объектов и степенной коэффициент (как показатель этой нелинейности), который равен не 0,5, как ожидается, а немного больше.

Выражение (1), путем несложных преобразований приводит к следующему уравнению:

$$P^{1/d} = k_1 S^{1/2}, \quad (2)$$

где k_1 – коэффициент пропорциональности.

Это выражение идентично предложенному Б. Мандельбротом к описанию зависимости между площадями и периметрами фрактальных объектов размерностью d [11]. Итог выполненных наблюдений заключается в следующем: морфоблоковая структура поверхности Беломоро-Кулойского плато имеет фрактальные свойства. А именно, статистическое самоподобие, масштабную инвариантность.

Исходя из этого, и учитывая в уравнении объем связанной плотностной неоднородности V можем записать [11]:

$$P^{1/d} = k_1 \cdot S^{1/2} = k_2 \cdot V^{1/3}. \quad (3)$$

Таким образом, данное уравнение выражает функциональную связь геометрических параметров поверхностной части морфоблока с глубиной заложения его в земной коре. Это позволило рассчитать пространственное положение плотностных флуктуаций в приповерхностной части Беломоро-Кулойского плато, которые образуют своеобразный слой в земной коре. Результат проведенных модельных расчетов для изучаемой поверхности показан на рис.4.

Получена средняя глубина заложения выявленной морфоблоковой структуры Беломоро-Кулойского плато равная 250-300м, при этом нижняя граница данных структурных неоднородностей земной коры имеет большую амплитуду высотных изменений, чем верхняя. Сопоставляя полученные данные о структуре земной коры с имеющейся геолого-тектонической схемой строения для исследуемого района [12] можно видеть, что расчетная нижняя граница, во

многих случаях, имеет положение на границе чехла и кристаллического фундамента.

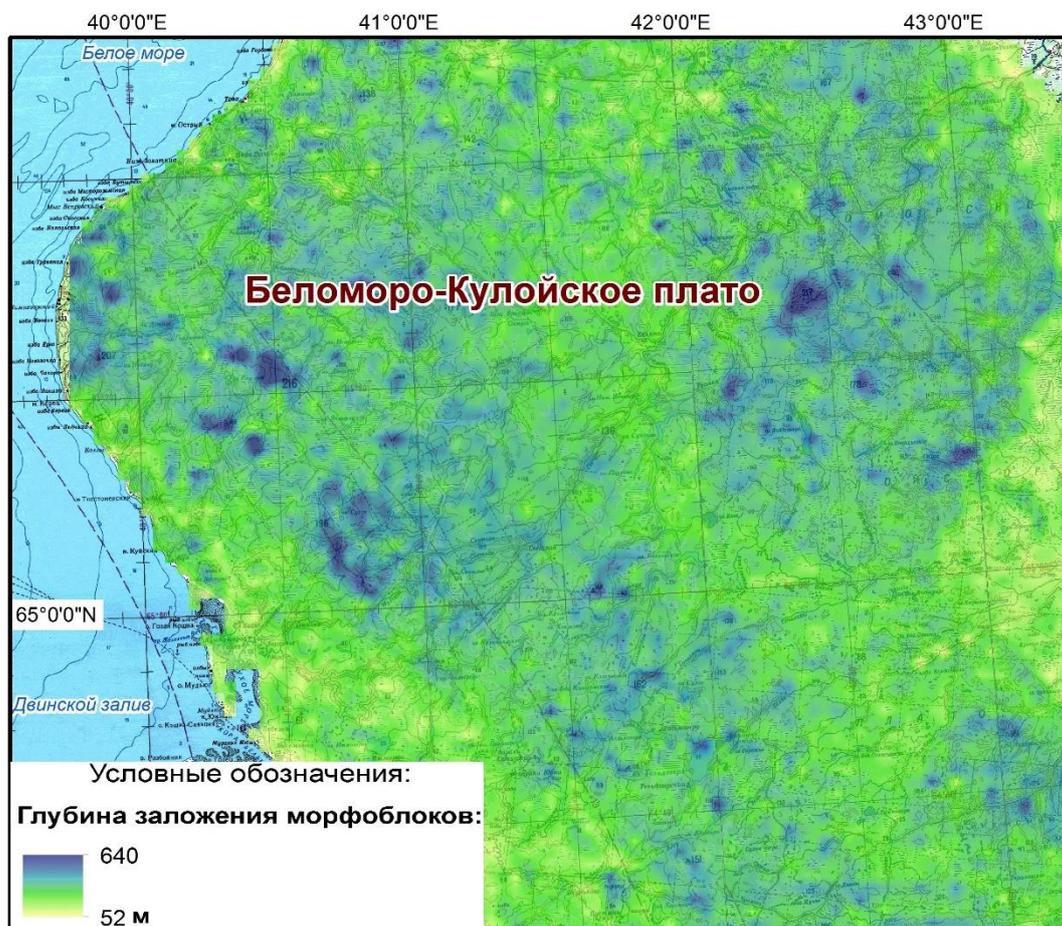


Рис.4. Растр плотностных неоднородностей Беломоро-Кулойского плато, проявленных во фрактальной морфоблоковой структуре земной поверхности.

Список литературы.

1. Философов В.П. Основы морфометрического метода поиска тектонических структур /под ред. Вострякова А.В. Саратов. 1975. 233с.
2. Tribe A. Automated recognition of valley lines and drainage networks from grid digital elevation models: a review and a new method // Journal of Hydrology 139, 1992, pp. 263–293.3. Minar, J., Evans, I.S. Elementary forms for land surface segmentation: the theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping. Geomorphology, 2008. pp. 236–259.
3. Eitzelmuller, B., 2009. Structuring the digital elevation model into landform elements through watershed segmentation of curvature. //Proceedings of Geomorphometry 2009. University of Zurich, Zurich, Switzerland, 31 August 2009, pp. 55–60.
4. Запорожцева И.В., Пыстин А.М. Строение дофанерозойской литосферы Европейского Северо-Востока России. СПб. 1994г. 110с.

5. Садовский М.А. Автомодельность геодинамических процессов// Вестник АН СССР. 1986. №8. С 3-11.
6. Лопатин Д. В. Поиски трубок взрыва на территории Восточно-Европейской платформы с использованием аэрокосмической информации // Исследование Земли из космоса. №1. 2001. с. 62-72.
7. Zagainiy A.K., Ustinov V.N., Zhuravlev V.A. Structural-tectonic distribution factors of kimberlite and lamproite magmatism occurrence of north-west of East-European platform // GEOLOGY OF DIAMONDS – THE PRESENT AND THE FUTURE (geologists to the 50-th anniversary of Mirny and diamond mining industry of Russia), Mirny, ALROSA Co. Ltd., 2005. P. 79-86.
8. Сайт Геологической службы США: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Дата обращения: 10.04.2016.
9. Сайт Института исследований окружающей среды (ESRI) [электронный ресурс]: <http://resources.arcgis.com/ru/help/>. (дата обращения 24.03.2016).
10. Топографические карты масштаба 1:500000. Листы Q-37-III(IV). Роскартография. 1989г.
11. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. /Пер. с англ. Логунова А.Р./ М., 2002. 664с.
12. Астафьев Б. Ю., Богданов Ю. Б., Воинова О. А., Воинов А. С. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000. Серия Балтийская. Лист Q-37 – Архангельск. СПб.: 2012 . 302 с.