

УДК 551.4.03:528.0.67.4(571.5+571.6)

© 2019 г. О.В. РЫБАС, Г.З. ГИЛЬМАНОВА*

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ МАСШТАБНЫХ ПРОСТРАНСТВ
ДЛЯ ЦМР СРЕДНЕГО РАЗРЕШЕНИЯ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
И ТЕКТНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Институт тектоники и геофизики имени Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Хабаровск, Россия

**E-mail: gilya@yandex.ru*

Поступила в редакцию 13.03.2017

После доработки 09.06.2017

Принята к печати 18.12.2018

В статье представлена методика выявления структурных элементов и деталей геологического строения по цифровым моделям рельефа (ЦМР) на базе теории масштабных пространств. С ее помощью по ЦМР среднего разрешения (например, SRTM03, GMTED2010) выделяются линейные и куполообразные объекты, а также более общие текстурные особенности, позволяющие существенно повысить качество тектонического и геологического картографирования, структурных построений и районирования. В общих чертах описана теория масштабных пространств в применении к решению этих задач. Приведены примеры.

Ключевые слова: цифровая модель рельефа, теория масштабных пространств, модуль градиента рельефа, оператор Лапласа на поверхности Гаусса, минерализация, линеаменты.

<https://doi.org/10.31857/S0435-42812019268-78>

**THE APPLICATION OF THE SCALE-SPACE THEORY
FOR MEDIUM-RESOLUTION DTM IN GEOLOGICAL
AND GEOTECTONIC STUDIES**

O.V. RYBAS, G.Z. GILMANOVA*

Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics FEB RAS, Khabarovsk, Russia

**E-mail: gilya@yandex.ru*

Received 13.03.2017

Revised 09.06.2017

Accepted 18.12.2018

S u m m a r y

The article presents a technique for identifying structural elements and details of the geological structure in digital terrain models (DTM) based on the theory of scale spaces. With its help, linear, dome-shaped and textural features are singled out from medium-resolution DTM (for example, SRTM03, GMTED2010), allowing to significantly improve the quality of studies related to tectonic and geological

mapping and zoning. In general, the theory of scale — spaces is described in application to the solution of these problems and illustrated on the examples of a number of case studies.

Keywords: digital terrain model, scale spaces, module of relief gradient, Laplacian on Gaussian surface, mineralization, lineaments.

Введение

Рельеф является одним из основных индикаторов развития геодинамических процессов, протекающих в приповерхностном слое Земли, и во многом отражает геологическое строение территории. Информация о морфологической структуре земной поверхности может быть представлена многими способами, включая аэрофото- и космические снимки в различных оптических и радио диапазонах, но наиболее ценны для геологов модели высот — т. н. цифровые модели рельефа (ЦМР). Они содержат в себе информацию о “геометрии” поверхности.

Интерпретация ЦМР обычно проводится после этапа предобработки, включающего фильтрацию шумов и генерализацию, то есть сглаживание модели рельефа для подавления избыточной детальности. На результаты предобработки опираются все дальнейшие процедуры, такие как поиск линейных и кольцевых структур, текстурный анализ, построение 3D-моделей и др. Поэтому требования к процедуре сглаживания растровых изображений/матриц высот для задач геоморфологии очень жесткие. Этим требованиям три:

(I) *необратимость*, то есть невозможность восстановления удаленных элементов изображения, это важно для различных статистических вычислений;

(II) *отсутствие ложных структур*, которые могли бы возникать в ходе процесса предобработки и, в конечном итоге, приводить к неверным результатам;

(III) *измеримость* — особое требование, которое подразумевает то, в чем и как измеряется “сглаженность” исходного изображения, а так же возможность их каскадных совмещений с воспроизводимым результатом.

Возникает вопрос выбора инструментария. В 80-х годах XX в. несколькими исследователями была предложена методика сглаживания и дифференцирования многомерных сигнальных последовательностей, где в качестве модели процесса сглаживания была взята физическая модель диффузии (она же модель распространения тепла), которая описывалась соответствующим дифференциальным уравнением в частных производных второго порядка. Роль плотности элементов или температуры (для диффузии или теплопроводности, соответственно) выполняет значение сигнала в заданной системе координат, а параметру “время” t в уравнении была назначена роль параметра пространственного масштаба, который собственно и служит единицей измерения сглаженности. Решением этого уравнения с начальным условием при $t = 0$ $L(x;0) = f(x)$ является интеграл Пуассона. То есть при нулевом значении параметра сглаживания исследуемая сигнальная последовательность $L(x;0)$ совпадает со своим исходным набором $f(x)$. Интеграл Пуассона — это интегральная функция при $t > 0$, которая в свою очередь является сверткой фундаментального решения уравнения диффузии (ядра Гаусса) и исходного набора данных $f(x)$. Таким образом, появилась возможность расширить линейное пространство исходных данных дополнительным измерением — внутренним или т. н. “пространственным” масштабом.

Термин “масштабное пространство” (Scale-Space), то есть линейное пространство, дополненное “масштабным” измерением, появился еще в работах [1, 2], где авторы решали вопросы сглаживания и достоверности масштабного параметра t через свертку исходных данных с ядром Гаусса. Но в 1987 г. Кендеринк и ван Доорн [3] воспользовались моделью диффузии, то есть свойствами решений этого дифференциального урав-

нения, а так же ввели в обращение термин “нечеткая производная” (fuzzy derivative) и, таким образом, фактически сформулировали теорию масштабных пространств в том виде, в котором она известна сегодня. Позже термин “нечеткая производная” был заменен на “производную Гаусса” (иногда “Гауссова производная”). В последующее десятилетие большинство работ было посвящено исследованию структурных особенностей изображений (хотя можно говорить о сигнальных последовательностях любой размерности) через Гауссовы производные различного порядка и их операторы [4–7]. Современные системы машинного зрения в основном опираются на эти работы.

Теория масштабных пространств для задач геологии и геоморфологии

В ИТиГ ДВО РАН были проведены исследования для адаптации теории масштабных пространств к задачам геологии и геоморфологии, где в качестве исходного набора данных использовалась ЦМР различного разрешения. В предыдущих наших работах [8, 9] основное внимание уделялось описанию теории (в объеме необходимом для работы с моделью рельефа) и принципиальной возможности ее использования для задач классификации, картографирования, уточнения. В качестве иллюстраций были продемонстрированы примеры выделений разрывных нарушений, кольцевых структур, оценки сейсмоактивных зон и тому подобное — то есть примеры решения задач неотектоники и сейсмологии. На веб-сайте института выложена вторая глава монографии авторов [8] с очень подробными иллюстрациями. В настоящей статье мы дополнили материал новыми примерами картографирования разломов, выделения геологических структур, текстурного и линеаментного анализа в изучении рудных районов.

Вспомним несколько определений для более компактного изложения материала. Результат процедуры сглаживания $L(x;t)$ при фиксированном $t > 0$ в теории масштабных пространств называют масштабным представлением (scale-space representation). Это соответствует интегралу Пуассона с начальным условием $L(x;0) = f(x)$ в терминологии дифференциальных уравнений, который, как уже упоминалось выше, является оператором свертки ядра Гаусса $g(x;t)$ (с масштабным параметром t) с исходным набором данных $f(x)$. Следует помнить, что при сглаживании (свертке ядром Гаусса) не происходит потери пространственного разрешения, но отфильтровываются локальные экстремумы, и увеличиваются расстояния между оставшимися в $L(x;t)$ по мере увеличения t . Не существует экстремумов на расстоянии друг относительно друга меньше, чем корень квадратный из t , что собственно и позволяет использовать масштабный параметр в качестве единицы измерения сглаженности.

Теперь можно рассматривать масштабное представление $L(x;t)$ при фиксированном параметре t в качестве оператора свертки двух или большего количества функций. Дифференцированием масштабного представления служит свертка “производной Гаусса” $g_x(x;t)$ с исходной ЦМР или ее представлением. Для производной будем использовать запись L_x . Вектор, собранный из производных по каждому из пространственных измерений, называют градиентом, геометрический смысл которого — скорость и направление изменения состояния представления L в каждой его точке (в сущности, это крутизна и экспозиция наклона поверхности). В координатном пространстве ЦМР (x,y) , градиент (L_x, L_y) и соответственно модуль градиента $|L_x, L_y|$ будут рассматриваться как двухкомпонентные операторы. Подобным образом обозначаются и вторые производные.

Вместе с модулем градиента масштабного представления очень полезным для решения задач геологии и геоморфологии является и его “оператор Лапласа” (будем так называть сумму вторых производных $\Delta L = L_{xx} + L_{yy} = (g_{xx} + g_{yy}) * f$). Вторая производная по пространственным координатам — индикатор локального купола или депрессии в зависимости от знака этой производной, и чем выше абсолютное значение результата свертки, тем лучше соответствует линейный размер купола (депрессии) корню квадратному масштабного параметра t .

Модуль градиента поверхности — хороший индикатор для разрывных нарушений, “вторая производная” — для выделения кольцевых структур. И оба оператора успешно применяются при текстурном анализе. Текстурные особенности рельефа могут служить индикатором состава пород и крупных литолого-петрографических комплексов. Очень интересным может быть “анализ независимых компонент” (Independent Component Analysis — ICA), который позволяет разобрать изображение на элементарные составляющие, произвести необходимые манипуляции и вернуть все в исходное состояние, что дает возможность подавлять лишнее и акцентировать внимание на важных структурах сигнальной последовательности.

Опыт показывает, что для региональных геологических и тектонических задач наибольший интерес представляют материалы среднего разрешения, в частности: SRTM03 (Shuttle Radar Topography Mission) и GMTED2010 (Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010) с разрешением 3 и 7.5 угловых секунды, соответственно. При слишком высоком разрешении (например, Aster GDEM с 1 угловой секундой на ячейку) ЦМР не несут дополнительной геологической информации, а высокая детальность воспринимается как шум. Тогда как низкое разрешение (30 угловых секунд и более грубое) может заинтересовать только тех, кто изучает глобальные и семи-глобальные структуры и процессы.

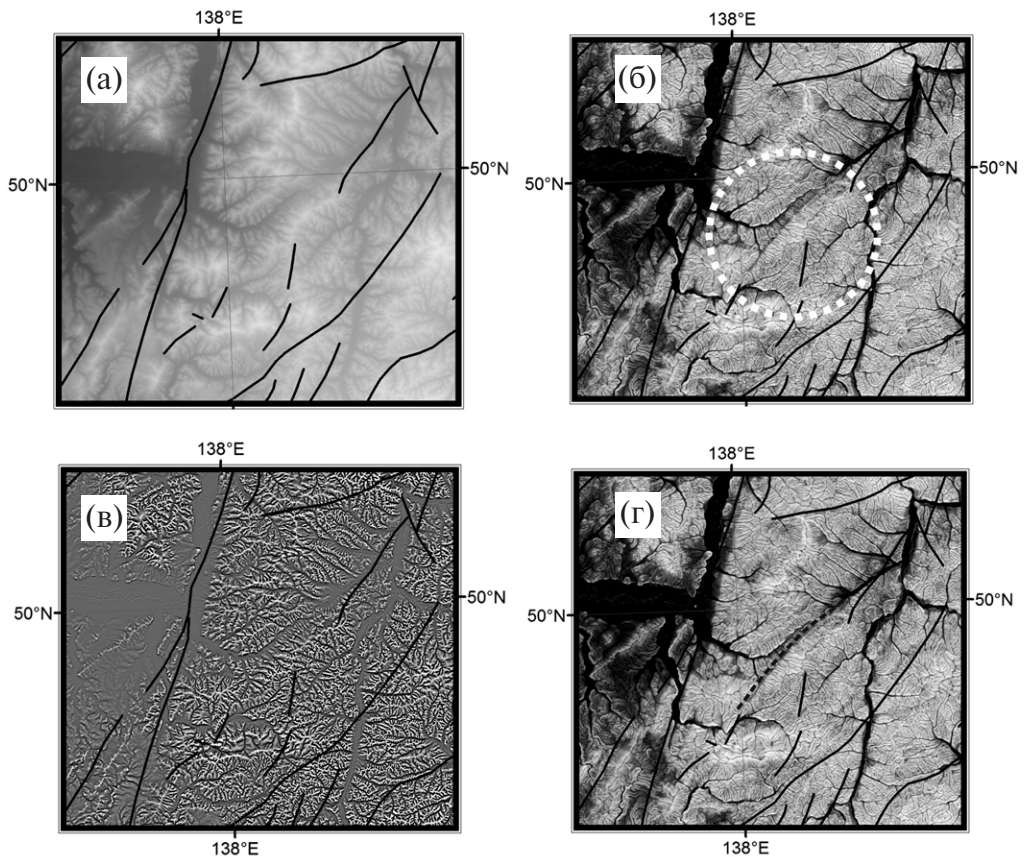


Рис. 1. Пример выделения линейной структуры на севере Сихотэ-Алиньского орогенного пояса (а) — исходная ЦМР; (б) — модуль градиента рельефа с масштабным параметром $t = 1$; (в) — “оператор Лапласа” с масштабным параметром $t = 36$; (г) — выделенная линейная структура (черная пунктирная линия). Сплошными черными линиями показаны разломы, выделенные ранее по геологическим данным

Применение методики в геологических и тектонических исследованиях

Серия масштабных представлений рельефа была использована при составлении обобщенной карты разломов территории Дальнего Востока России [8] для уточнения ранее выделенных разломов и выявления новых. В качестве примера на рис. 1 приведены изображения фрагмента Сихотэ-Алиньского орогенного пояса: исходная ЦМР (рис. 1а), модуль градиента рельефа с масштабным параметром $t = 1$ (рис. 1б), “оператор Лапласа” с масштабным параметром $t = 36$ (рис. 1в). Тонкими линиями на все изображения нанесены разломы, выделенные по геологическим данным при создании карт третьего поколения масштаба 1:1 000 000. Видно, что в модуле градиента рельефа (рис. 1б) в центральной части исследуемого участка хорошо проявилась линейная структура — разрывное нарушение. С юга его продолжает небольшой фрагмент разлома, выделенный по геологическим данным. “Вторая производная” рельефа также ее подчеркивает. Наиболее естественным представляется продление южного фрагмента на север. На рис. 1(г) выделенная линейная структура показана черным пунктиром.

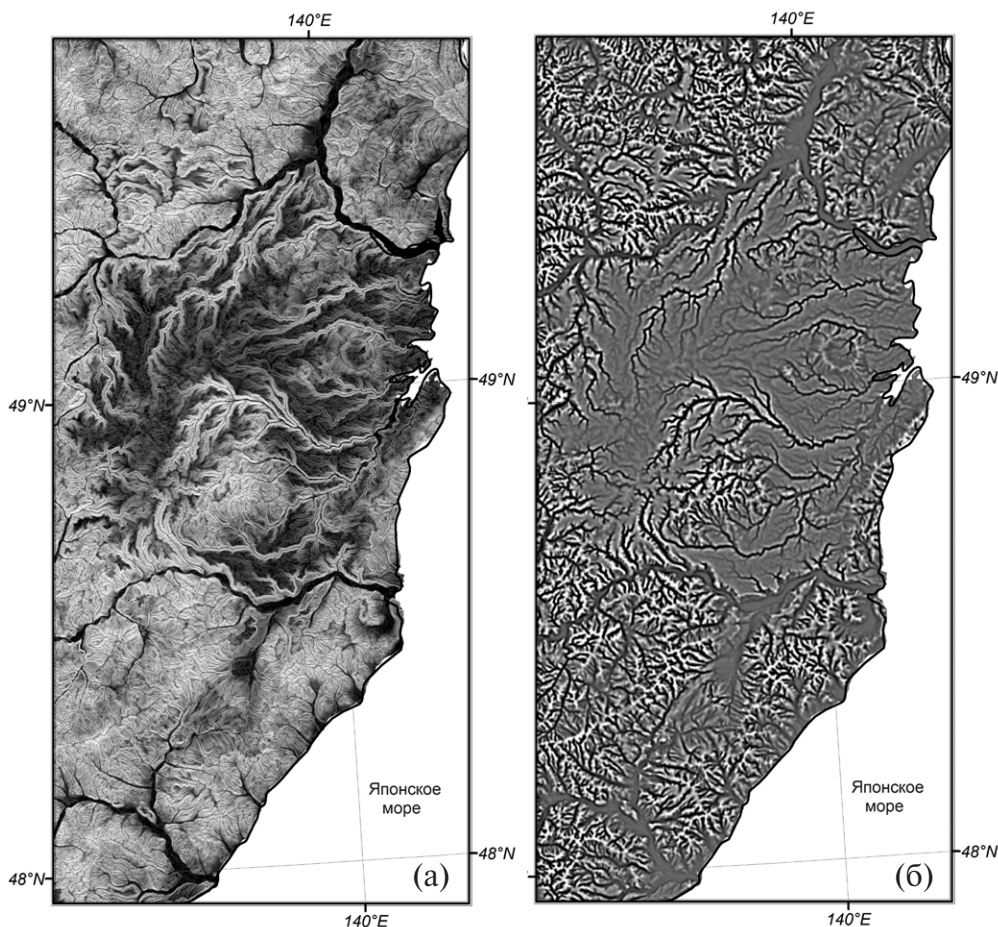


Рис. 2. Пример выделения геологических структур в Восточно-Сихоте-Алиньском вулcano-плутоническом поясе

(а) — модуль градиента с масштабным параметром $t = 1$; (б) — “оператор Лапласа” с масштабными параметрами $t = 1$

Рассмотрим пример проявления геологических структур в Восточно-Сихотелинском вулcano-плутоническом поясе (рис. 2а–г). Изображения получены путем вычисления модуля градиента с масштабным параметром $t = 1$ (рис. 2а) и “оператора Лапласа” ($t = 1$) (рис. 2б). На рис. 2(в–г) показаны, соответственно, фрагмент геологической карты масштаба 1:1 000 000 и контуры геологических тел на фоне обработанной ЦМР. В исследуемом районе имеются следы активных процессов позднемелового и кайнозойского магматизма. На рис. 2(а) отчетливо дешифрируются лавовые потоки плиоцен-неоплейстоценовых базальтовых полей совгаваньской свиты (N_2-Q_1 sg), их видимые границы соответствуют контурам на геологической карте (рис. 2в–г). Вдоль русел рек размытые магматические образования кизинской

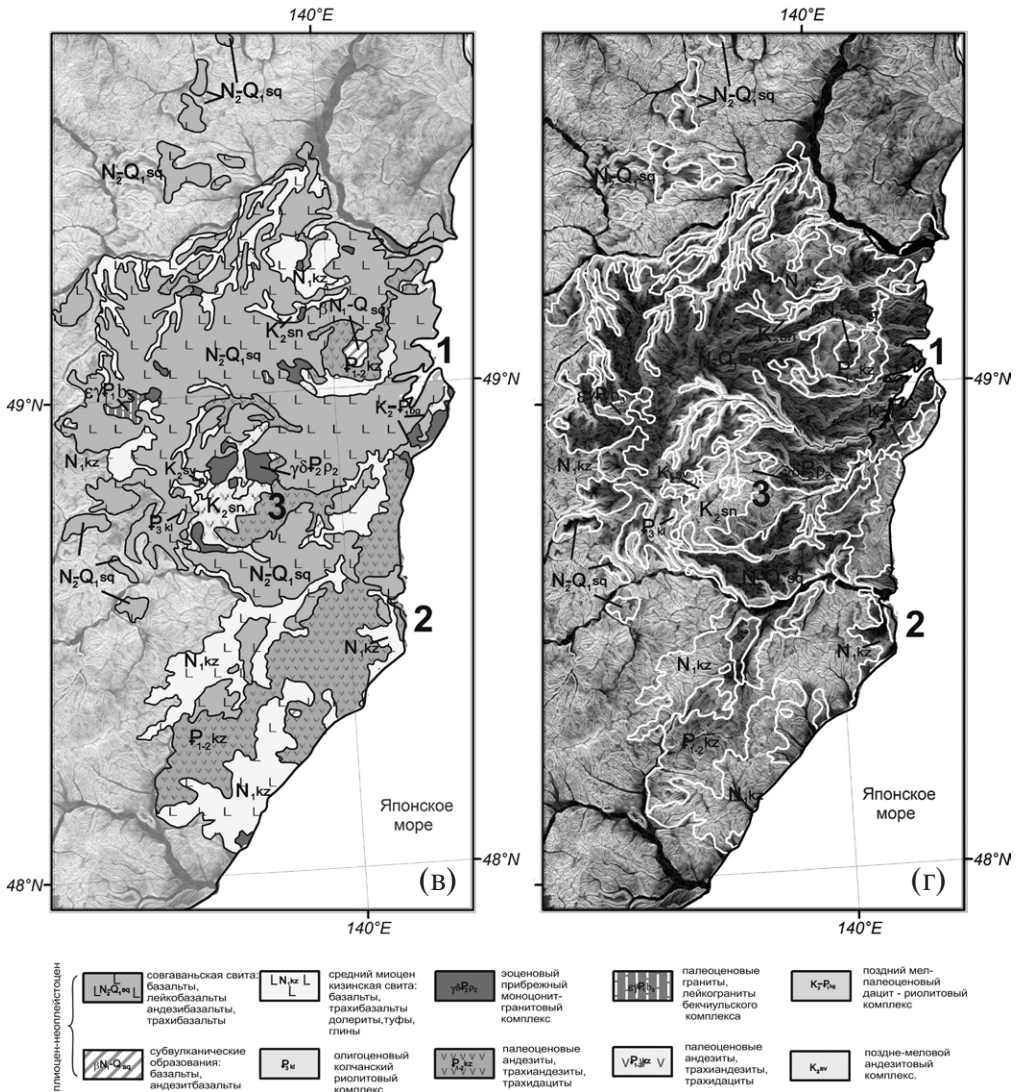


Рис. 2. Продолжение

(в) — фрагмент геологической карты масштаба 1:1 000 000; (г) — контуры геологических тел на фоне обработанной оператором модуля градиента рельефа. Цифрами обозначены: 1, 2 — кальдеры палеовулканов, 3 — выход кристаллического фундамента

свиты среднемиоценового возраста (N_1kz) также хорошо проявлены на обработанных снимках. Палеоценовые андезиты ($P_{1-2}kz$) от средне-миоценовых базальтов (N_1kz) отделить по текстурным признакам весьма сложно.

Обращают на себя внимание кольцевые структуры, соответствующие вулканическим центрам эрупции, кальдерам, обозначенные на рисунках цифрами 1 и 2. Они отчетливо выделяются как на картосхемах модуля градиента, так и на картосхемах “оператора Лапласа” (рис. 2а–б). Границы палеовулкана под цифрой 1 в целом хорошо согласуются с геологическими данными, хотя остается возможность их уточнения при более детальном исследовании. Это нельзя сказать про палеовулкан под цифрой 2, где, возможно, наблюдается дефект картографирования. По геологическим данным вулкан не представлен как обособленная структура. Возможно, это обусловлено недостаточной детальностью геолого-разведочных работ.

По текстурным особенностям отчетливо выделяется выход кристаллического фундамента (цифра 3). Можно говорить о хорошем соответствии его контуров геологическим границам, хотя провести такое же детальное деление (K_2sp , K_2sv , $\gamma\delta P_2\rho_2$, P_3kl) на составляющие его комплексы не представляется возможным. Отметим, что все упомянутые структуры на исходной ЦМР явно не выделяются, так же как и на обычных аэрофото- и космоснимках. Поэтому можно утверждать, что при используемом подходе к обработке ЦМР удастся получить новую информацию, не извлекаемую непосредственно из модели высот. Достоверность ее подтверждается совпадением с имеющимися данными полевых геологических исследований и карт, а в некоторых случаях метод дает возможность уточнения существующих карт, что особенно важно в условиях малоизученных и труднодоступных территорий.

Исследование закономерностей распределения рудных месторождения относительно структур рельефа

В качестве примера приведем уникальный по запасам Эльконский урановорудный район расположенный в Республике Саха (Якутия) на Алдано–Становом щите Сибирской платформы. К данным SRTM 03 (рис. 3а) был применен полный комплекс обработки: рассчитаны модуль градиента рельефа с масштабными параметрами $t = 1, 36, 196$ (рис. 3б–г), “оператор Лапласа” с $t = 1, 36, 196$ (рис. 3д–ж), на их основе созданы синтезированные изображения (рис. 3з), подсчитаны линеаменты в программе Winlessa [10] (рис. 4б). Используются данные о рудопроявлениях из геологических отчетов на исследуемую территорию. На всех трансформациях разведанный Эльконский район показан пунктиром в виде ромба. В рельефе он соотносится с Эльконским горстовым поднятием.

Видно, как меняется изображение с увеличением масштабного параметра t . Если на исходной ЦМР Эльконскому району соответствует одна из довольно размытых светлых областей, характеризующих его более высокое расположение на местности (рис. 3а), то на изображении, полученном в результате расчета модуля градиента рельефа с масштабным параметром $t = 1$ (это соответствует максимальной детализации), район отчетливо выделяется как целостная обособленная структура с высокой степенью расчленения рельефа (рис. 3б–в). Очевидно, что границы района, выделенные по геологическим данным, могут быть продлены на юго-восток по геоморфологическим признакам. На рис. 3(в–г) видно, что по мере увеличения масштабного параметра $t = 36, 196$ детальность уменьшается, начинают проявляться более крупные элементы рельефа.

На рис. 3(д–ж) приведены результаты расчета “оператора Лапласа”. Хорошо проявились текстурные особенности рельефа, подтверждающие выделенные по модулю градиента рельефа элементы на рис. 3(в–г) (масштабный параметр $t = 36, 196$).

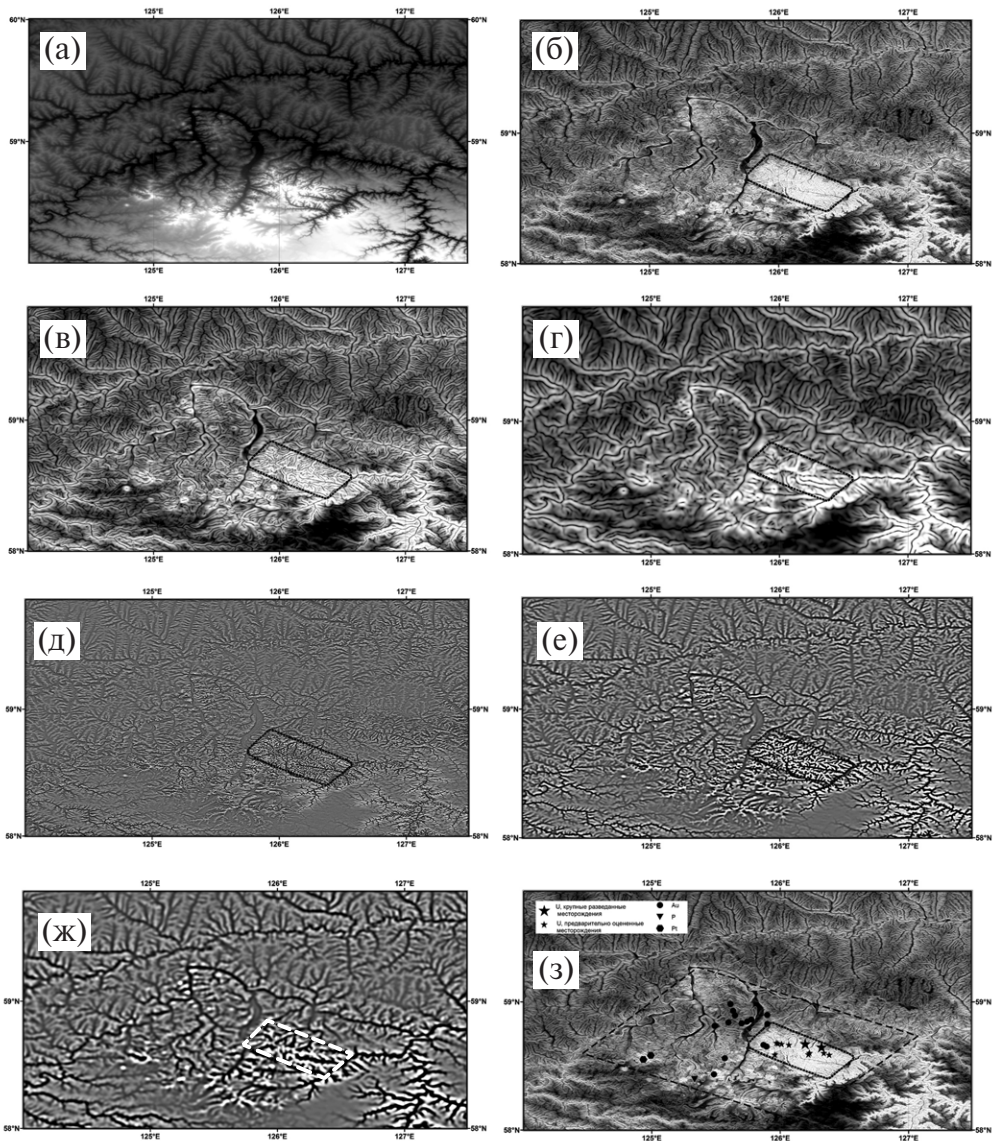


Рис. 3. Эльконский урановорудный район Алдано-Станового щита Сибирской платформы (а) — исходная ЦМР; (б–г) — модуль градиента рельефа с масштабными параметрами $t = 1, 36$ и 196 ; (д–ж) — “оператор Лапласа” с масштабными параметрами $t = 1, 36$ и 196 ; (з) — мультимасштабное синтезированное изображение с вынесенными рудопроявлениями. Мелким пунктиром показан Эльконский урановорудный район, выделенный по геологическим данным, крупным — выделенный по результатам анализа ромбовидный блок, контролирующий рудную минерализацию Центрально-Алданского района

Дополнительная информация получена при расчетах линейментов (рис. 4а–б). Эльконский рудный район соотносится с протяженной субширотной зоной линейментов мощностью до 90 км, уходящей далеко за его пределы (рис. 4б). Промышленная урановая минерализация приурочена к отдельным линейментам в детально разведанной северной части площади, но ее признаки установлены в рудных зо-

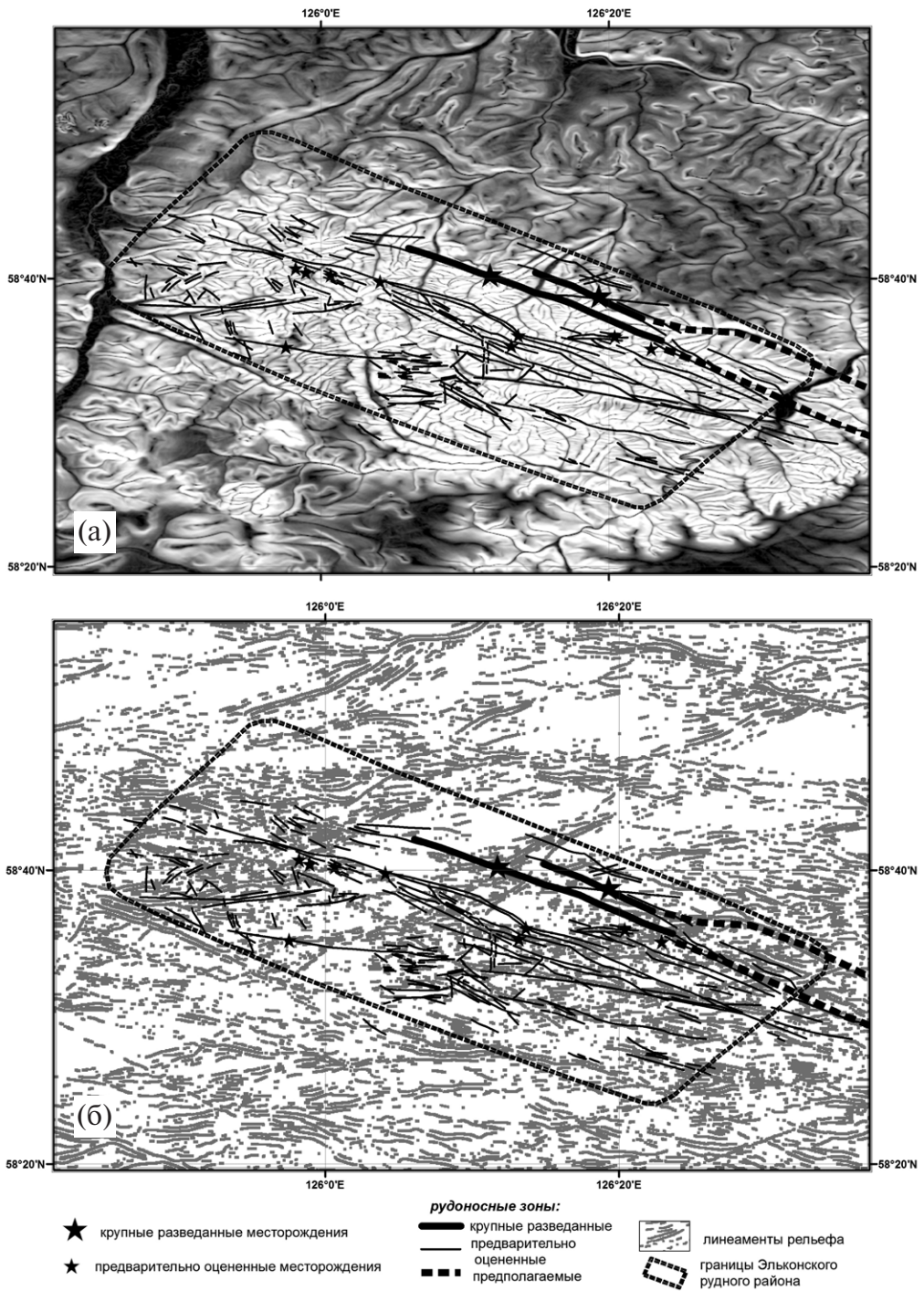


Рис. 4. Основные рудопроявления Эльконского рудного района: (а) — на фоне модуля градиента рельефа; (б) — на фоне линеаментов, выделенных в программе Winlessa [10]

нах по всей территории Эльконского района, что определяет широкий фронт для дальнейших поисковых и разведочных работ. Большинство тектонических нарушений, которые контролируют урановую минерализацию, согласуются с ориентацией в пространстве как всего блока, так и с преобладающим направлением линеаментов, находящихся за его пределами.

Рисунок 3(з) — монохромный вариант синтезированного цветного RGB-изображения, где сведены исходная ЦМР, “оператор Лапласа” с масштабным параметром $t = 36$, модуль градиента рельефа с $t = 1$. Выявленный крупный ромбовидный блок, обозначенный на рисунке редким пунктиром, контролирует практически всю рудную минерализацию Центрально-Алданского района (рис. 3з). Интересно отметить, что К. Ф. Тяпкин и Т. Т. Кивелюк в своей работе [11] по геофизическим данным выделили в районе исследований крупные системы разломов, которые хорошо согласуются с границами выделяемых нами структур. Таким образом, применение методики обработки ЦМР позволило выявить уникальные параметры Эльконского рудного района, установить новые интересные особенности его расположения в поле линеаментов, что может послужить основой для дальнейших исследований ураноносности района.

Заключение

Теория масштабных пространств показала себя как заслуживающий внимания инструмент для решения определенного круга задач геоморфологии, тектоники и геологии.

Разгрузка от отвлекающих и маскирующих деталей преобразованных ЦМР способствует выявлению наиболее существенных черт геологического строения. Необратимость, отсутствие ложных структур, измеримость, в комплексе с точностью программной реализации являются очень важными свойствами такого рода обработки ЦМР, что делает ее достоверной и воспроизводимой.

Очень интересной и перспективной может быть постобработка масштабных представлений, взятых в качестве объектов текстурного анализа, как самостоятельных, так и комплексных (то есть собранных в единый многомерный объект) для дальнейших структурных или статистических исследований.

Таким образом, возможности преобразованных цифровых моделей рельефа при тектоническом районировании территорий, геологическом картографировании, структурных построениях, линеаментном и текстурном анализе могут найти свое применение на всех этапах региональных геологических, металлогенических исследований. Метод позволяет получить информацию об объектах до полевых работ, эффективно спланировать места их проведения, что особенно важно в труднодоступных регионах.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 16-17-00015. Авторы выражают глубокую благодарность В. Ю. Забродину и В. А. Гурьянову за консультации в области геологии и тектоники и профессиональную оценку полученных результатов.

Acknowledgments. This work was supported by the grant of the RNF No. 16-17-00015. The authors are deeply grateful to V. Yu. Zabrodin and V. A. Guryanov for consultations in the field of geology and tectonics and professional assessment of the results obtained.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Witkin A. P.* Scale-space filtering // Proc. 8th Int. Joint Conf. Art. Intell. Karlsruhe, Germany. 1983. P. 1019–1022.
2. *Koenderink J. J.* The structure of images // Biol. Cyb. 1984. Vol. 50. P. 363–370.

3. Koenderink J.J. and van Doorn A.J. Representation of Local Geometry in the Visual System // *Biol. Cyb.* 1987. Vol. 55. P. 367–375.
4. Haar Romeny B.M. *Front-End Vision and Multi-Scale Image Analysis*. Dordrecht: Springer, 2003. 464 p.
5. Lindeberg T. On the axiomatic foundations of linear scale-space // *Gaussian Scale-Space Theory: Proc. PhD School on Scale-Space Theory*. Copenhagen, Denmark, May 1996. Kluwer Academic Publishers, 1997. P. 75–97.
6. Florack L. M. J., Haar Romeny B. M., Koenderink J. J., and Viergever M. A. Scale and the Differential Structure of Images // *Image and Vision Computing*. 1992. Vol. 10:6. P. 376–388.
7. Рыбас О. В., Гильманова Г. З. Применение теории масштабного пространства для выделения и анализа структур рельефа по радиолокационным данным // *Исследование земли из космоса*. 2011. № 6. С. 45–52.
8. Забродин В. Ю., Рыбас О. В., Гильманова Г. З. *Разломная Тектоника Материковой Части Дальнего Востока России*. Владивосток: Дальнаука, 2015. 130 с.
9. Гильманова Г. З., Рыбас О. В., Горошко М. В. Применение преобразованных цифровых моделей рельефа для геолого-структурного районирования крупных блоков земной коры // *Тихоокеанская геология*. 2011. Т. 30. № 6. С. 34–43.
10. Zlatopolsky A.A. Description of texture orientation in remote sensing data using computer program LESSA // *Computers & Geosciences*. 1997. Vol. 23. No. 1. P. 45–62.
11. Тяпкин К. Ф., Кивелиук Т. Т. *Изучение разломных структур геолого-геофизическими методами*. М.: Недра, 1982. 239 с.

REFERENCES

1. Witkin A. P. Scale-space filtering. *Proc. 8th Int. Joint Conf. Art. Intell.* Karlsruhe, Germany. 1983. P. 1019–1022.
2. Koenderink J.J. The structure of images. *Biol. Cyb.* 1984. Vol. 50. P. 363–370.
3. Koenderink J.J. and van Doorn A.J. Representation of Local Geometry in the Visual System. *Biol. Cyb.* 1987. Vol. 55. P. 367–375.
4. Haar Romeny B.M. *Front-End Vision and Multi-Scale Image Analysis*. Dordrecht: Springer, 2003. 464 p.
5. Lindeberg T. On the axiomatic foundations of linear scale-space. *Gaussian Scale-Space Theory: Proc. PhD School on Scale-Space Theory*. Copenhagen, Denmark, May 1996. Kluwer Academic Publishers, 1997. P. 75–97.
6. Florack L. M. J., Haar Romeny B. M., Koenderink J.J., and Viergever M. A. Scale and the Differential Structure of Images. *Image and Vision Computing*. 1992. Vol. 10:6. P. 376–388.
7. Rybas O.V. and Gilmanova G.Z. Application of the scale-space theory for the isolation and analysis of the relief structures on radar data. *Issled. Zemli iz kosmosa*. 2011. No. 6. P. 45–52. (in Russ.)
8. Zabrodin V.Yu, Rybas O.V., and Gilmanova G.Z. *Razlomnaya tectonica materikovoy chasty Dalnego Vostoka Rossii* (Fault tectonics of the Russian Far East Mainland). Vladivostok: Dalnauka (Publ.), 2015. 130 p.
9. Gilmanova G.Z., Rybas O.V., and Goroshko M.V. The application of the converted digital elevation models for geological and structural zoning of large crustal blocks. *Tihookean. Geol.* 2011. Vol. 30. No. 6. P. 34–43. (in Russ.)
10. Zlatopolsky A.A. Description of texture orientation in remote sensing data using computer program LESSA. *Computers & Geosciences*. 1997. Vol. 23. No. 1. P. 45–62.
11. Тяпкин К. Ф. and Кивелиук Т. Т. *Izucheniye razlomnih struktur geologo-geofizicheskimi metodami* (Studying of fault structures by geological and geophysical methods). Moscow: Nedra (Publ.), 1982. 239 p.