

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА  
ДЛЯ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНОГО РАЙОНИРОВАНИЯ КРУПНЫХ БЛОКОВ  
ЗЕМНОЙ КОРЫ**

*Г.З. Гильманова, О.В. Рыбас, М.В. Горошко*

*Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск,  
680000, e-mail: gigulya@yandex.ru*

Поступила в редакцию 15 ноября 2010 г.

Приводятся методика обработки цифровой модели рельефа посредством модуля градиента и лапласиана поверхности Гаусса и результаты ее применения для мелкомасштабного геолого-структурного районирования. Исследуемая область (52–61° с.ш и 120–133° в.д.) охватывает южную часть Сибирской платформы (Алдано-Становой щит), юго-восточный фланг раннепалеозойского Селенга-Станового и западную часть мезозойского Монголо-Охотского орогенных поясов. Показано, что интерпретация преобразованных цифровых моделей позволяет уверенно устанавливать размеры и взаимоотношения геологических структур и зон различных типов, выявлять разрывные нарушения, тектонические блоки разной степени переработки.

**Ключевые слова:** геолого-структурное районирование, цифровые модели рельефа, модуль градиента рельефа, лапласиан поверхности Гаусса, орогенные пояса, Сибирская платформа.

**ВВЕДЕНИЕ**

Рельеф является одним из основных показателей хода и направленности процессов, протекающих в приповерхностном слое Земли. Будучи результатом взаимодействия экзогенных и эндогенных процессов, рельеф отражает геологическое строение территории.

В настоящее время в геологических и тектонических исследованиях активно применяется широкий комплекс аэрокосмических съемок и измерений в разных диапазонах спектра, полученных как пассивными методами, использующими естественное отраженное или вторичное тепловое излучение объектов на поверхности Земли, так и активными, использующими вынужденное излучение объектов, инициированное искусственным источником направленного действия (радарная съемка).

Большое значение имеют способы преобразования и компьютерной обработки космической информации, позволяющие повысить возможности визуального дешифрирования, генерализации изображения с целью выделения отдельных классов объектов.

В данной работе излагаются методика и результаты обработки цифровых моделей рельефа,

полученных в результате радарной съемки, посредством модуля градиента и лапласиана поверхности Гаусса для изучения особенностей строения очень интересного и сложного в тектоническом отношении района взаимодействия Евразийской и Амурской плит. Исследуемая область (52–61° с.ш и 120–133° в.д.) охватывает южную часть Сибирской платформы (Алдано-Становой щит), северо-восточные фрагменты раннепалеозойского (каледонского) Селенга-Станового складчатого пояса, Аргуно-Мамынский микроконтинент и западную часть мезозойской (позднегерцинской-индосинийской) Монголо-Охотской складчатой системы. Область характеризуется активными геодинамическими проявлениями, как в настоящее время, так и в геологическом прошлом.

**ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ**

Исследованная территория (рис. 1) охватывает три крупнейших геоблока Дальневосточного региона: докембрийскую Сибирскую платформу, Селенга-Становой раннепалеозойский и Монголо-Охотский мезозойский орогенные пояса. Они разделены Джел-

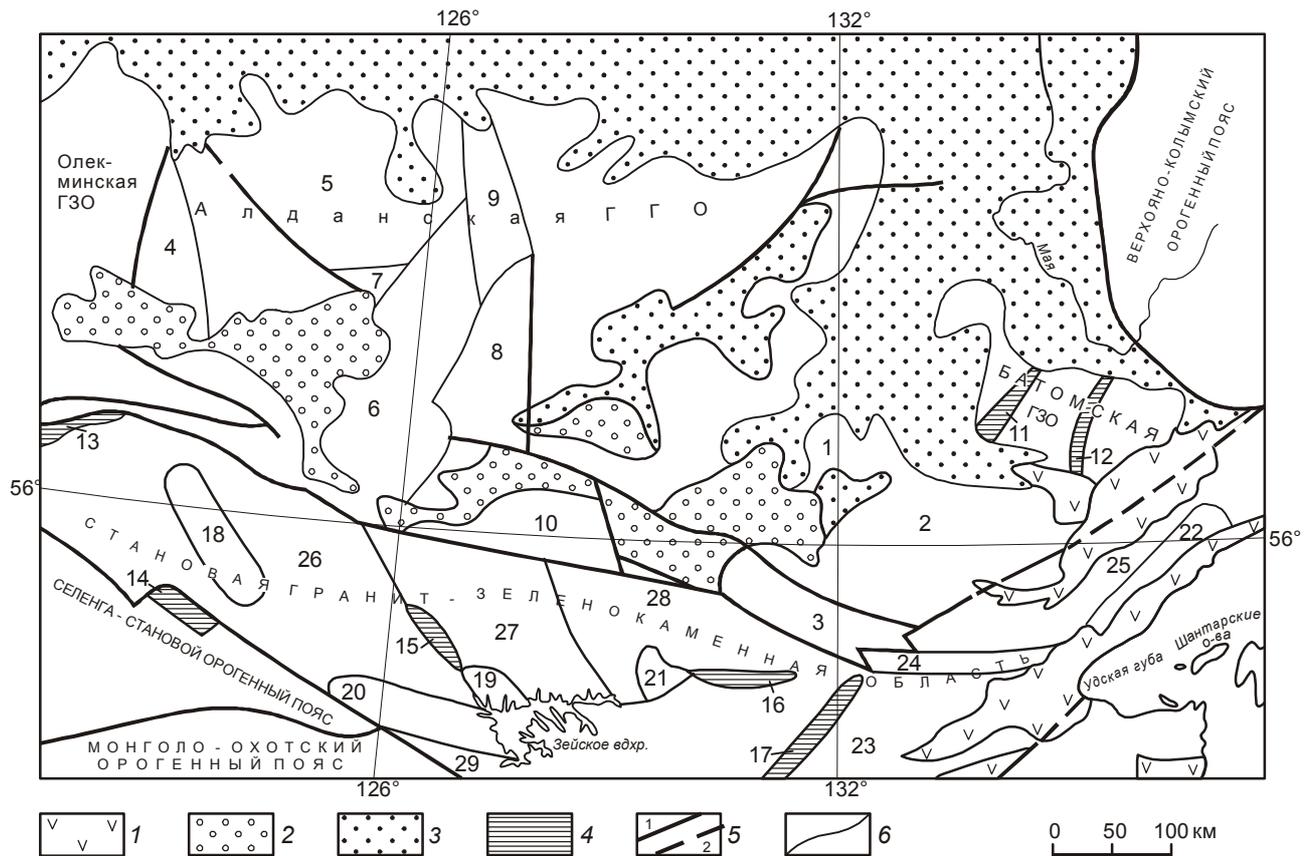


Рис. 1. Схема тектонического районирования юго-востока Сибирской платформы.

1 – вулканические пояса, 2 – юрские угленосные впадины, 3 – терригенные и карбонатно-терригенные отложения платформенного чехла, 4 – зеленокаменные пояса, 5 – разломы: установленные (1) и предполагаемые (2), 6 – геологические границы. Алданская гранулит-гнейсовая область (блоки): 1 – Идюмо-Хайканский, 2 – Тырканский, 3 – Туксанский, 4 – Чугинский, 5 – Нимнырский, 6 – Иенгрский, 7 – Унгринский, 8 – Сейский, 9 – Тимптонский, 10 – Сутамский. Становая гранит-зеленокаменная область (блоки): 18 – Ларбинский, 19 – Угаханский, 20 – Дамбукинский, 21 – Сивакан-Токский, 22 – Джугджурский, 23 – Чогарский, 24 – Удско-Майский, 25 – Лавлинский, 26 – Иликанский, 27 – Мульмунгинский, 28 – Купуринский, 29 – Усть-Гилойский. Зеленокаменные пояса: 11 – Чумиканский, 12 – Утукачанский, 13 – Тас-Юряхский, 14 – Желтулакский, 15 – Унахинский, 16 – Таксакандинский, 17 – Удыхинский. ГГО – гранулит-гнейсовая область, ГЗО – гранит-зеленокаменная область.

тулакским и Северо-Турурингским глубинными разломами [1–7, 10].

В составе Сибирской платформы выделяются Алдано-Становой щит и позднпротерозойский–кембрийский плитный комплекс.

Алдано-Становой щит сложен, в основном, гранулитовыми, амфиболитовыми и, в меньшей степени, зеленосланцевыми метаморфическими комплексами. Традиционно к наиболее древним архейским образованиям относятся комплексы гранулитовой и амфиболитовой фаций регионального метаморфизма, к позднеархейским – менее измененные комплексы амфиболитовой фации, к раннепротерозойским – породы зеленокаменной фации. Но современные изотопно-геохронологические данные показывают, что гранулитовый мета-

морфизм преимущественно имел место в раннепротерозойское время, а относительно слабометаморфизованные гранит-зеленокаменные образования имеют позднеархейский возраст [1, 8, 10].

Алдано-Становой щит расчленяется на три мегаблока: Алданскую гранулит-гнейсовую (ГГО), Становую и Олекминскую гранит-зеленокаменные (ГЗО) области. Граница Алданской гранулит-гнейсовой и Становой гранит-зеленокаменной областей проходит по зоне крупного долгоживущего глубинного Станового разлома, а с Олекминской гранит-зеленокаменной областью – по Амгинскому глубинному разлому.

В более детальном плане, исходя из особенностей геологического развития, магматизма, метаморфизма и специфики глубинного строения, в Алдано-Становом щите выделяются блоки второго порядка.

Алданская гранулит-гнейсовая область состоит из мозаики блоков, разделенных позднеархейско-раннепротерозойскими глубинными разломами. Различают блоки, сложенные иенгрским, тимптонским и желтулинским структурно-вещественными комплексами.

В разрезе иенгрского комплекса находится значительный объем мафических пород и почти всегда присутствуют кварциты, в том числе железистые. Тимптонский и желтулинский вещественно-структурные комплексы характеризуются пестрым составом разрезов, наличием карбонатных пород при почти полном отсутствии кварцитов. Интрузивные породы этих комплексов представлены мелкими линзовидными телами метагипербазитов и продуктами гранитизации, в том числе чарнокитами.

Иенгрским комплексом сложены Нимырский, Иенгрский, Сутамский, Сеймский, Верхнетимптонский блоки, а тимптонским и желтулинским комплексами – Суннагинский, Гонамский, Иджекский и Тимптонский блоки.

В Алданской гранулит-гнейсовой области выделяются наложенные структуры позднеархейского, раннепротерозойского и позднемезозойского возраста. К позднеархейскому времени заложения относятся Федоровский и Унгринский грабен-синклиории, сложенные федоровским структурно-вещественным комплексом, представленным разнообразными гнейсами и кварцитами, находящимися в тонком переслаивании с диопсидовыми сланцами и амфиболитами.

Нижнепротерозойские комплексы осадочных пород выполняют два небольших, наложенных на кристаллическое основание узких грабена: Атугей-Нуямский и Давангра-Хугдинский. Они относятся к поярковской серии, представленной кварцитовидными и кварц-полевошпатовыми песчаниками, алевролитами, глинистыми сланцами, гравелитами и конгломератами.

Отложения платформенного чехла представлены породами рифея, юдомской серии венда, имеющей мощность 95–300 м, и образованиями кембрия мощностью 72–213 м. Рифейские образования в нижней части разреза имеют терригенный, а в средней и верхней части – карбонатно-терригенный состав. Отложению юдомской серии предшествовал наиболее крупный перерыв в осадконакоплении, сопровождавшийся, на фоне общей инверсии, становлением ультраосновных щелочных интрузий. В основании серии залегают конгломераты и песчаники (в том числе кварцевые), которые вверх по разрезу сменяются аргиллитами, доломитами, доломитистыми известняками и алевролитами. Кембрийские от-

ложения представлены цветными известняками и доломитами, глинистыми битуминозными известняками, переслаивающимися с кремнистыми известняками и мергелями. Породы верхнепротерозойского кембрийского плитного комплекса выполняют широкие пологие мульды и узкие, приразломные синклинальные складки. Глубина погружения фундамента – не более 300 м.

Позднемезозойские терригенные угленосные отложения слагают цепочку континентальных рифтогенных впадин. Они выполнены юрскими существенно терригенно-угленосными отложениями суммарной мощностью до 3500–4500 м. Максимальная мощность отложений фиксируется у южных бортов впадин. Они несогласно, с глубоким размывом залегают на архейско-протерозойских комплексах кристаллического фундамента и венд-кембрийских породах чехла Сибирской платформы. Все впадины представляют собой полуграбены с крутыми приразломными бортами, усложненными надвигами архейских пород, – на юго-западе и пологими – на северо-востоке. Цепочка их ориентирована субширотно, согласно ориентировке окраины Алданской гранулит-гнейсовой области.

Породы ареалов позднемезозойского магматизма Алданской гранулит-гнейсовой области относятся к ряду субщелочных и щелочных формаций, находящихся в закономерных вещественных и пространственно-временных отношениях. Магматизм проявился в юрско-меловом временном интервале в несколько этапов. Наибольшие объемы магматических масс были сформированы в поздней юре–раннем неокоме.

Выделены Центральнo-Алданский ареал субщелочных и щелочных пород размером около 100–120 км в поперечнике, расположенный на границе Алданской гранулит-гнейсовой области с Алдано-Ленской плитой, Тыркандинский ареал субщелочных и щелочных пород размером до 5 км в поперечнике, расположенный в зоне Тыркандинского разлома, Ломамский ареал субщелочных и щелочных пород размером 75×25 км, расположенный в северном борту Ытымджинской юрской впадины, и Кет-Капский ареал на хребте Кет-Кап.

Характерной особенностью тектоники Становой гранит-зеленокаменной области является наличие крупных глыб (блоков) раннеархейского основания среди позднеархейского (собственно Станового) складчатого комплекса. Последние, по сравнению с образованиями раннего архея, обладают меньшими мощностями, обычно представлены толщами груборитмичного чередования базитовых и высокоглино-

земистых гнейсов и кристаллических сланцев с прослоями кварцитов и мраморов. Уровень их метаморфизма – амфиболитовый.

К раннеархейским отнесены Ларбинский, Дамбукинский и Брянтинский блоки, к позднеархейским – Джелтулакский, Иликанский, Чимчанский, Мульмульгинский, Купуринский и другие блоки (рис. 1).

Из наложенных структур в Становой гранит-зеленокаменной области выделяются Джелтулакский шовный прогиб и позднемезозойский Становой вулканоплутонический пояс.

Джелтулакский прогиб представляет собой узкий (5–15 км) синклиорий длиной 120 км, испытавший интенсивную разломную тектонику и гранитообразование, местами уничтоживших значительную часть структуры. В строении прогиба принимают участие раннепротерозойские породы джелтулакской серии, выходы которой на современном этапе приурочены большей частью к зонам разломов. Они залегают в небольших тектонических клиньях среди пород архея, интенсивно дислоцированы и прогрессивно метаморфизованы от зеленосланцевой до эпидот-амфиболитовой фаций регионального метаморфизма. Вулканогенно-осадочные отложения джелтулакской серии подразделяются на две толщи: нижнюю (1100 м) – кварцитов, кварцито-сланцев, слюдяных (со ставролитом, андалузитом, дистеном, гранатом), углисто-графитистых и зеленых (со стильпно-меланом) сланцев, мраморов, метаконгломератов, метаэффузивов, и верхнюю (1200 м) – филлитов, кварцито-сланцев, метапесчаников, метаалевролитов, метаконгломератов и метаэффузивов.

Становой вулканоплутонический пояс близширотного простирания расположен в северной части Становой гранит-зеленокаменной области. Он протягивается вдоль Станового разлома от берега Охотского моря в бассейн р. Нюкжа на расстояние свыше 1200 км. Пояс образован мелкими полями кислых и средних эффузивов и крупными (до 3–4 тыс. км<sup>2</sup>) гранитоидными многофазными массивами сложной плито- и лакколитообразной формы [4, 5, 7]

Складчатые пояса представлены раннепротерозойским Селенга-Становым и мезозойским Монголо-Охотским.

Селенга-Становой пояс сложен преимущественно интрузивными породами с небольшими блоками нижнеархейских биотит-роговообманковых, роговообманковых, биотитовых сланцев и гнейсов, силлиманитовых, кианитовых, двуслюдяных гнейсов, кварцитов, диопсидовых пород и кальцифиров. Интрузивные массивы представлены габбро, габбро-амфиболитами, пироксенитами архейского возраста,

гранитами и гранодиоритами архея и раннего протерозоя, лейкогранитами юры, граносиенитами перми и триаса.

Монголо-Охотский орогенный пояс мезозойской складчатости представляет собой узкую структуру, ограниченную с севера Северо-Тукурингским, а с юга – Южно-Тукурингским глубинными разломами. Пояс сложен мощными комплексами верхнепротерозойских-палеозойских кремнисто-вулканогенно-терригенных пород, зонально-метаморфизованных в фации глаукофановых и зеленых сланцев. Эти отложения чрезвычайно сложно дислоцированы и характеризуются выдержанным по простиранию линейным характером складок и преобладающим северным падением пластов.

#### МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА

Исходным материалом для исследований и обработки послужила цифровая модель рельефа SRTM03 (рис. 2).

Распространяемые данные SRTM03 (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/cbanddataproducts.html>) имеют следующие характеристики: размер ячейки (исключая территорию США) 3×3 секунды (примерно 90 м), проекция Lat/Lon на эллипсоиде WGS84 (World Geodetic System 1984) с исходной отметкой над уровнем моря, определяемой геоидом WGS84-EGM96 (Earth Gravitational Model). Абсолютные погрешности горизонтального позиционирования и высоты для евразийского континента составляют 8.8 м и 6.2 м, соответственно. Данные кодируются 16 битами, что позволяет представлять набор высот от 0 до 65535 м с дискретностью 1 м, покрывая тем самым реальный диапазон высот.

Обработка и последующая визуализация изображений проводилась с применением оригинальных программ и программной среды ArcGis 9.3.

Растровая модель поверхности рельефа представляется как 3-мерный объект в системе координат растрового изображения  $(x,y)$ , значения в каждой точке  $f(x,y)$  являются численными значениями реальных высот поверхности над уровнем моря в метрах.

Разработанная методика выделения структуры рельефа по цифровым моделям основана на применении теории масштабируемого пространства [11–13], основное положение которой заключается в применении функции Гаусса в качестве оператора ядра свертки для исследуемого сигнала.

Геометрический смысл свертки поверхности  $f(x,y)$  с ядром Гаусса – это сглаживание поверхности с определенным параметром масштаба  $t$ . При этом величина  $t$  связана с результатом операции свертки

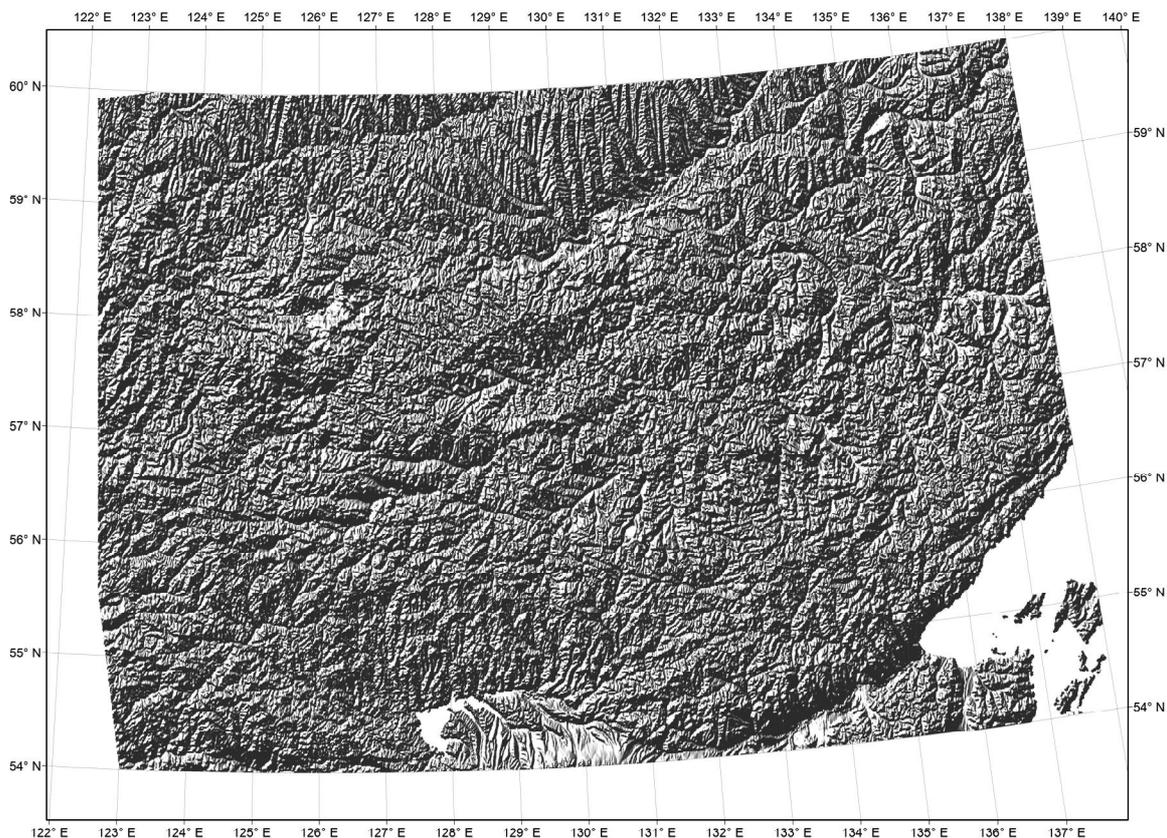


Рис. 2. Цифровая модель рельефа (подсвеченная) юго-востока Сибирской платформы SRTM03 и SRTM30\_Plus.

$L(x,y;t)$  таким образом, что из исходного изображения удаляются все детали, линейные размеры которых не превышают величин  $\sqrt{t}$ , т.е. термин “масштаб” следует понимать в контексте точности представленной информации. Это позволяет, с одной стороны, избавиться от шумов исходного материала (или хотя бы существенно их ослабить) и, с другой – произвести его генерализацию, т.е. оставить элементы рельефа такой линейной размерности, которая необходима на текущем этапе обработки.

Необходимость использования мультимасштабного представления определяется тем, что для реальных объектов не существует такого универсального масштаба, когда можно было бы выделить все элементы структуры в течение единственной серии преобразований. Чаще всего тонкие и точные особенности лучше проявляются при малых значениях сглаживающего параметра масштаба  $t$ , при этом теряются грубые формы. При увеличении  $t$  происходит генерализация обрабатываемой поверхности  $f(x,y)$  с потерей детальности, но появляется возможность проявить более грубые структурные составляющие. Таким образом, при проведении серии обработок по-

верхности  $f(x,y)$  (это может быть модуль градиента, лапласиан поверхности Гаусса, любое другое преобразование) с различной степенью генерализации будет получена серия результатов, которая может быть, в свою очередь, использована для дальнейшей обработки в аналитических системах. Например, выделяя линеаменты из модуля градиента фиксированного параметра сглаживания  $t$ , мы всегда можем знать характеристики, необходимые на данном этапе обработки объектов, и отфильтровывать ненужные. Проведя эти операции для каждого из уровней генерализации, на последнем шаге можно объединить все выделенные линеаменты для получения общей картины.

**Выделение структуры рельефа.** В геоморфологических исследованиях задача сводится к выделению линейных, кольцевых структур и, в качестве самостоятельного объекта – текстур с ярко выраженными морфометрическими признаками (осадочные бассейны, горные массивы и т.д.), которые могут быть предметом как дальнейшей автоматической обработки, так и визуальной оценки.

Модуль градиента (далее – MGR) является наиболее эффективным инструментом для выделения линейных структур, т.к. в зонах разрывных наруше-

ний почти всегда присутствуют пространственно вытянутые участки с близкими значениями градиентов. Кроме того, в любой точке экстремума значение модуля градиента близко к нулю, что позволяет в результате отчетливо выделять долины и хребты в виде протяженных линейных объектов.

Для выделения объектов куполообразной формы используется оператор Лапласа. Фильтр, построенный на базе поверхности Гаусса с применением к ней этого оператора, называют “лапласианом поверхности Гаусса” (далее LAG). Результатом работы фильтра будет максимальная ответная реакция на объекты куполообразной формы (отдельно стоящие пики, горные хребты), чьи очертания максимально близко соответствуют форме ядра свертки, и минимальная – на объекты противоположной формы (депрессии, долины).

**Методика дешифрирования.** С целью выделения крупных структурных элементов и выяснения деталей геологического строения территории использовались два изображения, полученные при обработке цифровой модели рельефа MGR при значениях  $t = 1, 16, 64$  и LAG при  $t = 4$ . Цветное изображение в формате RGB синтезировано как комбинация результатов расчетов при разных значениях  $t$ . Первое изображение было получено в результате расчета MGR при  $t = 1, 16, 64$  (каналы R, G, B, соответственно) для выявления максимального количества разрывных нарушений, а второе – как сочетание результатов расчета MGR при  $t = 1, 16$  (каналы R,G) и LAG при  $t = 4$  (канал B) для подчеркивания текстур. Добавление цветовой информации оказалось особенно важным при использовании результатов расчетов LAG (изображение в статье не приводится в силу того, что в черно-белом варианте оно представляется недостаточно выразительным).

Обработка цифровой модели MGR увеличивает зрительно степень расчлененности рельефа (рис. 3). Этот показатель отражается на преобразованном снимке различными тонами серого цвета. Наименее расчлененные участки (блоки) изображаются черным и темно-серым цветами, наиболее расчлененные – различными тонами серого цвета.

Обработка изображения с применением LAG позволяет выявлять неявные и не всегда очевидные линейные и кольцевые структуры. В качестве самостоятельного объекта можно рассматривать текстуры, т.е. в результате обработки выделяются зоны с ярко выраженными морфометрическими признаками (осадочные бассейны, горные массивы, и т.д.).

Перистый рисунок отвечает горизонтально залегающим платформенным образованиям, пятнистый – полям распространения осадочных и метамор-

фических толщ, интродуцированных интрузиями, бугристый – сближенным вулканическим центрам, пестрый – слоистым толщам и т.д. (рис. 3).

Текстурные особенности могут служить индикатором состава пород и крупных литолого-петрографических комплексов. Характер границ отдельных типов рельефа указывает на взаимоотношения различных толщ (контакт нормальный стратиграфический или тектонический) [9].

Полосовые линейные аномалии отождествляются обычно с линейными телами (дайками) интрузивных пород, устойчивыми к выветриванию, крутопадающими пластами осадков, разломами различного направления. Кольцевые аномалии отвечают малым интрузиям, вулкано-тектоническим депрессиям, интрузивно-купольным структурам. Элементы гидросети позволяют установить наиболее крупные региональные геологические объекты: разломы, складчатые структуры.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ

Результаты дешифрирования преобразованных снимков представлены отдельными рисунками: схематическими дешифрирования площадных структурных элементов (рис. 4) и разрывных нарушений (рис. 5). По данным анализа преобразованных цифровых моделей рельефа уверенно, различной тональностью и текстурой рельефа местности выделяются Алдан-Становой щит, Алданская антеклиза, Монголо-Охотский и Селенга-Становой орогенные пояса, границы которых проводятся по Северо-Турурингскому и Желтулакскому глубинным разломам. Эти разломы на снимках дешифрируются как границы блоков с различными тонами серого цвета и различной текстурой рельефа (рис. 4)

В Алданской антеклизе наиболее отчетливо по тону и текстуре рельефа разделяются блоки, сложенные вендскими, нижнекембрийскими и нижнеюрскими отложениями.

Метаморфические архейские толщи Алданской гранулит-гнейсовой области по степени контрастности рельефа Тимптонским глубинным разломом четко разделяются на две части: западную и восточную (рис. 4) Западная часть области, объединяющая Курультинский, Нимнырский и Федоровский блоки, отличается от восточной слабой контрастностью рельефа (темно-серым фоном) по сравнению с восточной, более расчлененной (светло-серым). Наиболее контрастно выглядит блок протяженностью до 300–400 км, ограниченный с запада Имангра-Томмотским, а с востока – Тимптонским глубинными разломами северо-восточного простирания и сложенный преимущественно фе-

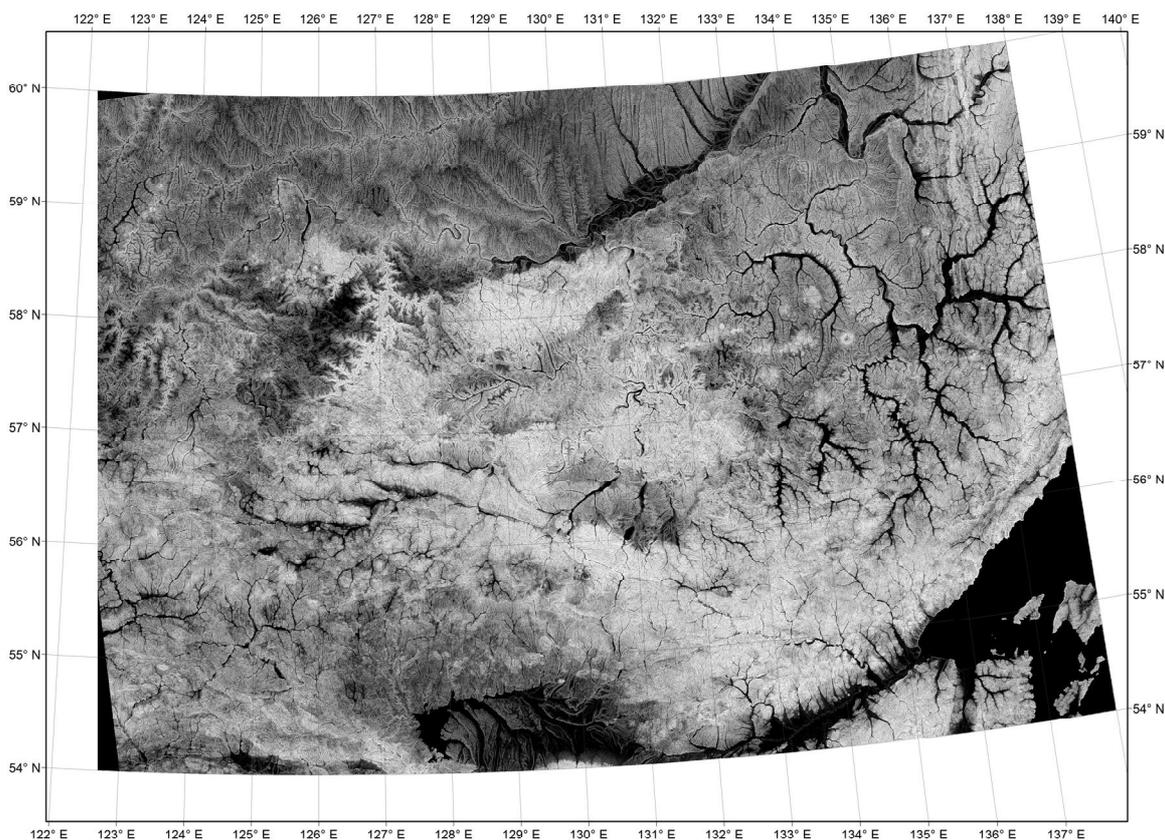


Рис. 3. Пример выделения геологических структур на цифровой модели, обработанной модулем градиента рельефа.

доровским структурно-формационным комплексом метаморфических пород (рис. 4).

В восточной части Алданской области от окружающих блоков серым фоном и характерным рисунком рельефа выделяется Тырканский блок, сложенный породами тырканской серии нижнего архея. Блок имеет тектонические границы со смежными блоками, характеризуется меньшей расчлененностью и петельчатой тонкополосчатой текстурой с преимущественно северо-западным направлением полос. Полосчатый рисунок рельефа объясняется пестротой литологического состава тырканской серии, сложенной частой перемежаемостью гнейсов различного состава, мраморов и кальцифиров. Менее четко по этим признакам выделяются Идюмо-Хайканский и Батомгский блоки.

Из наложенных на кристаллическое основание структур в Алданской гранит-гранулитовой области выделяются Улканский вулканогенный прогиб, Учуро-Майская позднепротерозойская впадина, Юдомо-Майский позднепротерозойский авлакоген, Алданская антеклиза и юрские угленосные впадины. Улканский вулканогенный прогиб выделяется наименее уверенно. Платформенные образования рифея отличаются

от метаморфических толщ разной контрастностью рельефа (темно-серый фон) или, в случае равенства этих показателей, его текстурой. Для пород рифея Учуро-Майской впадины характерен петельчатый рисунок местности, обусловленный выходами слоистых терригенных толщ, а для пород венда-кембрия, представленных, преимущественно, массивными доломитами и известняками, – перистый. Юрские осадочные отложения, залегающие на породах венда-кембрия, выделяются темно-серым фоном и отличной от кембрийских, перистой текстурой рельефа.

Более контрастно темно-серым (до черного) тоном на фоне серого на докембрийском фундаменте выделяются юрские угленосные впадины. Хорошо проявлены рыхлые кайнозойские отложения в долине р. Алдан (рис. 4).

Становая гранит-зеленокаменная область Таксакандинским разломом также разделяется на две части: западную – между Джелтулакским и Таксакандинским разломами, и восточную – между Удским вулканогенным прогибом на востоке и Таксакандинским разломом на западе. Западная часть Становой области, ввиду меньшей контрастности рельефа, вы-

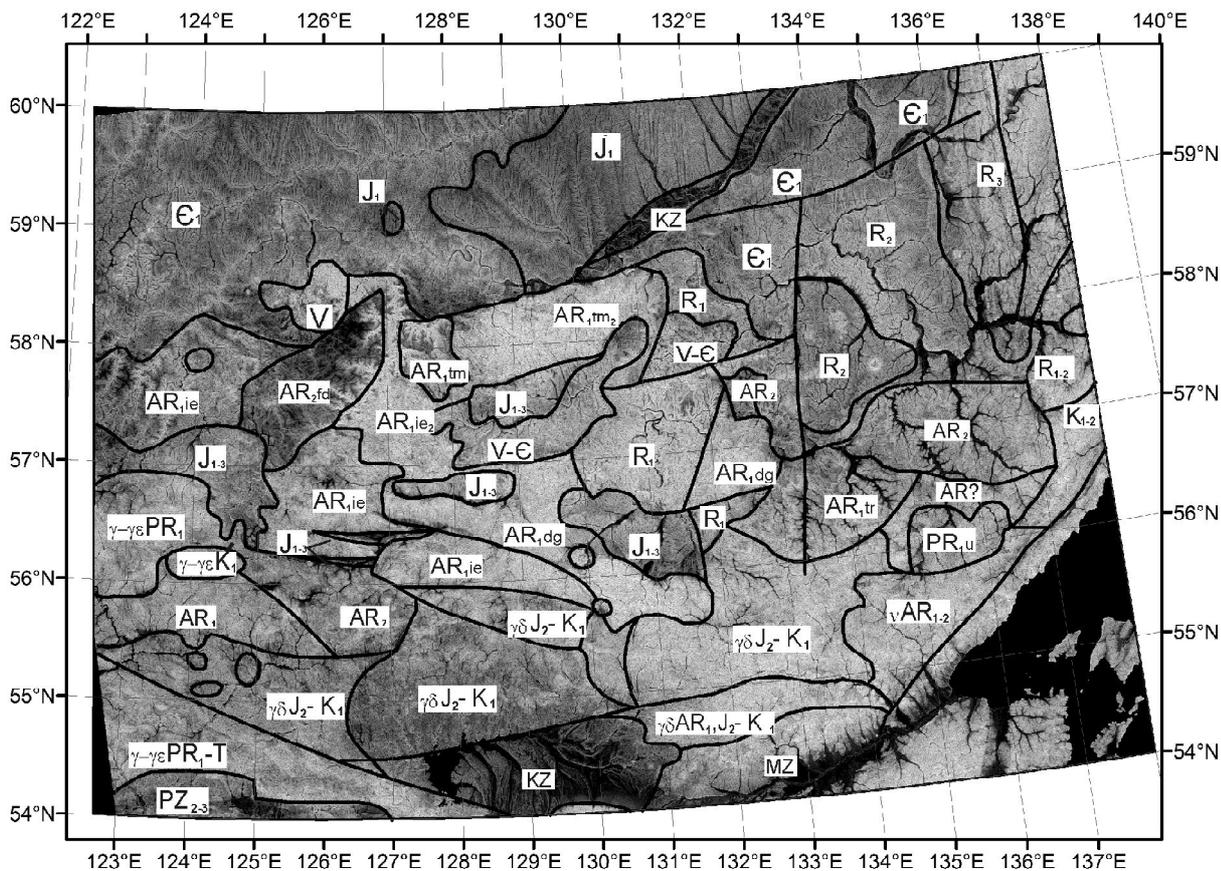


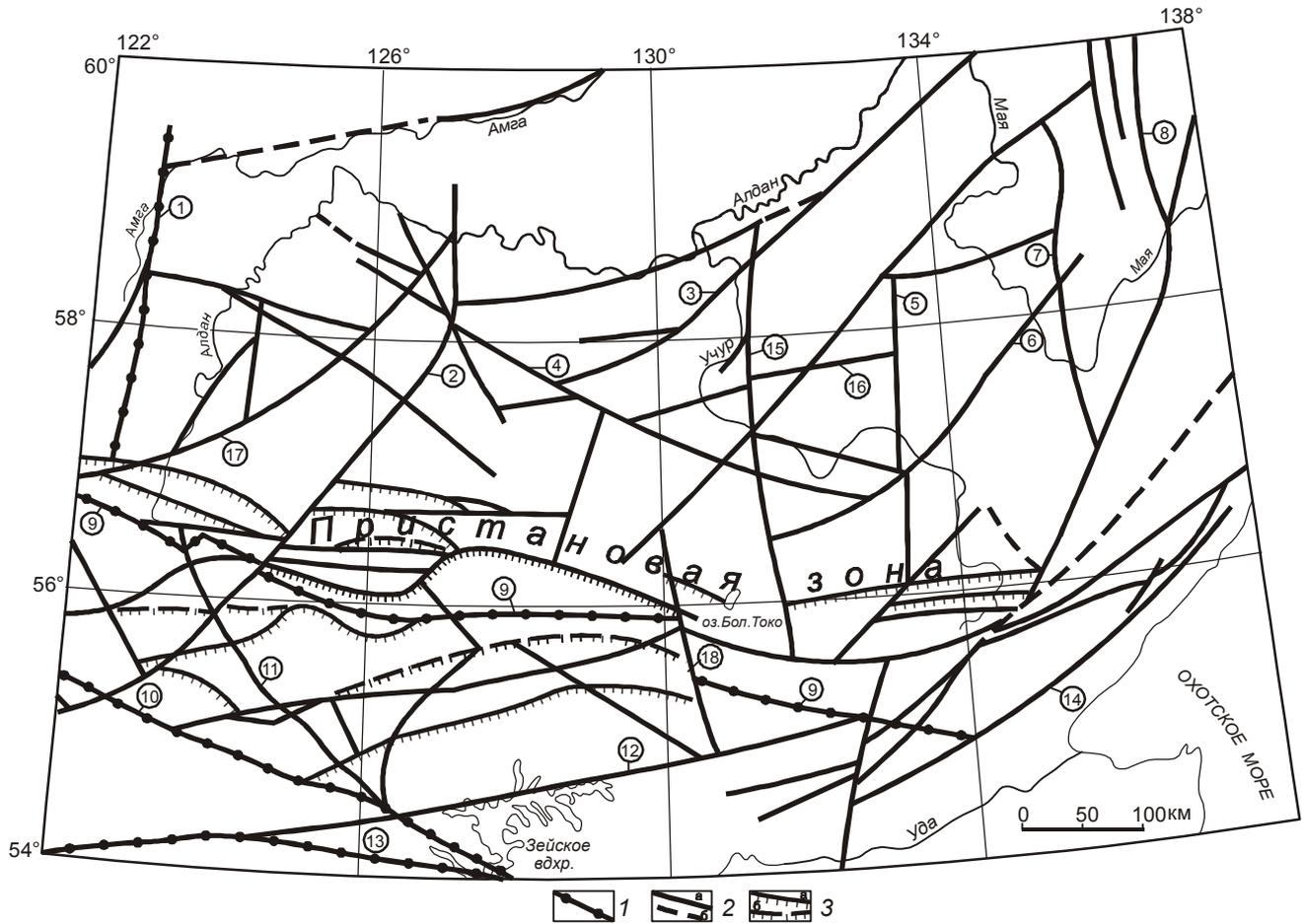
Рис. 4. Схема дешифрирования геологических структур юго-востока Сибирской платформы.

KZ – рыхлые кайнозойские осадочные отложения, K<sub>1-2</sub> – ранне-позднемиоценовые эффузивные поля, J<sub>1,3</sub> – юрские угленосные впадины, J<sub>1</sub> – нижнеюрские терригенные образования платформенного чехла, V, V-E, E<sub>1</sub> – вендские, венд-кембрийские и кембрийские терригенно-карбонатные отложения, R<sub>3</sub> – верхнерифейские осадочные отложения, R<sub>2</sub> – среднерифейские отложения, R<sub>1</sub> – нижнерифейские отложения, R<sub>1,2</sub> – ниже- и среднерифейские отложения нерасчлененные, PR<sub>1u</sub> – Улканский вулканогенный прогиб, AR<sub>2</sub> – верхнеархейские метаморфические образования, AR<sub>2fd</sub> – верхнеархейские метаморфические образования федоровской серии, AR? – нерасчлененные архейские образования, AR<sub>1dg</sub> – метаморфиты нижнеархейской желтулинской серии, AR<sub>1tm</sub> – то же, тимптонской серии, AR<sub>1ie</sub> – метаморфиты иенгрской серии, AR<sub>1tr</sub> – метаморфиты терканской серии,  $\gamma$ - $\delta$ K<sub>1</sub> – раннемиоценовые интрузии сиенитов, граносиенитов,  $\gamma$  $\delta$ J<sub>2</sub>-K<sub>1</sub> – блоки с широким развитием гранитоидов среднеюрского-раннемиоценового возраста,  $\gamma$ - $\delta$ PR<sub>1-T</sub> – блоки с широким развитием раннепротерозойских, палеозойских и раннемезозойских гранитоидов,  $\gamma$  $\delta$ AR<sub>1</sub>, J<sub>2</sub>-K<sub>1</sub> – блоки с развитием позднеархейских и позднемезозойских гранитоидов, vAR<sub>1,2</sub> – поля развития раннеархейских мафитовых и ультрамафитовых интрузивных комплексов, MZ – мезозойские отложения Унья-Бомского прогиба, PZ<sub>2-3</sub> – палеозойские комплексы Монголо-Охотского орогенного пояса. Черными линиями показаны границы геологических комплексов и кольцевых структур.

деляется темно серым фоном средней интенсивности. По интенсивности серого фона и текстуре рисунка в ней уверенно выделяются блоки, сложенные раннеархейскими комплексами метаморфических пород, позднеархейские блоки и блоки с широким развитием раннепротерозойских гранитов, граносиенитов и позднемезозойских гранодиоритов.

К востоку от Таксакандинского разлома светло-серым фоном и слабо различимой текстурой выделяются блоки с широким развитием мезозойских и архейских гранитоидов и блоки с крупными телами анортозитов и габбропироксенитов.

На границе Алданской гранулит-гнейсовой и Становой гранит-зеленокаменной областей к северу от Станового разлома отчетливо дешифрируется Пристановая складчато-надвиговая зона (рис. 5), представляющая собой систему надвигов и крутых субширотных разломов, прослеживающихся от западной рамки представленного рисунка до Прибрежной системы северо-восточных разломов на протяжении свыше 800 км при ширине 50–100 км. В раннем протерозое она контролировала шовные прогибы, выполненные вулканогенно-осадочными отложениями, зеленокаменные пояса и зоны диафторирован-



**Рис. 5.** Схема расположения основных разломов юго-востока Сибирской платформы по результатам дешифрирования цифровой модели.

1 – основные межблоковые разломы, 2 – прочие разломы: а – установленные, б – предполагаемые; 3 – надвиги: а – установленные, б – предполагаемые.

Разломы: 1 – Амгинский, 2 – Тимптонский, 3 – Легденский, 4 – Толук-Иджекский, 5 – Уянский, 6 – Учуро-Майский, 7 – Нельканский, 8 – Бурхалинский, 9 – Становой, 10 – Джелтулакский, 11 – Гилуйский, 12 – Верхнезейский, 13 – Северо-Турурингрский, 14 – Прибрежный, 15 – Идюмский, 16 – Кет-Капский, 17 – Имангра-Томмотский, 18 – Таксакандинский.

ных пород, от которых, в результате эрозионных процессов, сохранились только отдельные фрагменты.

В юрское время эта система разломов контролировала заложение Южно-Алданского рифтогенного угленосного прогиба протяженностью свыше 700 км и шириной 100–150 км. В позднем мезозое, в результате горизонтальных напряжений при взаимодействии Сибирской платформы и Центрально-Азиатского тектонического пояса, в зоне Станового разлома нашла свое широкое развитие система надвигов с амплитудой горизонтального перемещения, по разным оценкам, от 17 до 40 и более км. Этими надвигами прогиб разделен на фрагменты, выделяемые как отдельные впадины и так называемые “грабены”, являющиеся ничем иным, как эрозионными “окнами” в аллохтонных покровах метаморфических толщ или

выведенными на поверхность юрскими отложениями в ограниченных разломами тектонических клиньях. (рис. 1, 4, 5). Тектонические подвижки в зоне продолжают и в настоящее время. На это указывает проявление в ней малоглубинных землетрясений различной интенсивности.

Надвиги дешифрируются и в Становой гранит-зеленокаменной области (рис. 5.) Это подтверждается и структурными методами геофизики (сейсморазведка, МТЗ).

Остальные разломы имеют широтную, меридиональную, северо-западную и северо-восточную ориентировки. Разломы северо-восточного направления развиты, преимущественно, в восточной части исследованной территории, северо-западного – в центральной и западной, субширотного – в зоне стыка

Становой и Алданской областей. Меридиональные разломы развиты преимущественно в Алданской гранулит-гнейсовой области.

Практически все известные крупные разломы нашли свое отражение на схеме дешифрирования, но уточняются по положению на местности. Наиболее крупные из них (с запада на восток): Амгинский, Становой, Гилюйский, Желтулакский, Северо-Тукурингрский, Уянский, Нельканский, Учуро-Майский, Зейский и др. Выявлены новые тектонические нарушения, не нашедшие своего отражения на изданных картах. Наиболее интересными в металлогеническом отношении являются Идюмский, Кет-Капский, Тимптонский, Имангра-Томмотский и целый ряд других. Занимающий несколько другое положение, чем Тимптонский разлом, Тимптонский надвиг четко не проявлен.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение методики обработки цифровых моделей рельефа, в основе которой лежит вычисление модуля градиента и лапласиана поверхности Гаусса, и их интерпретация позволяют устанавливать размеры и взаимоотношения различных геологических объектов, а повышенная обзорность – увязывать разрозненные природные элементы в единое целое и распознавать большое количество однородных и разнородных геологических объектов.

На первый план выступают наиболее существенные крупные черты геологического строения региона. Вследствие суммарного влияния особенностей обработки повышается детальность дешифрирования, так как наблюдаются генерализованные проекции региональных и глобальных структур.

На преобразованных радарных снимках выделяются крупные геоблоки земной коры: Алдано-Становой щит, Селенга-Становой и Монголо-Охотский орогенные пояса, а в их пределах – блоки более высоких порядков.

Уверенно выделяются крупные разломы. Часто удается проследить уже известные разломы на значительно большие расстояния, чем это отображено на существующих картах.

Методика может найти свое применение на всех этапах региональных геологических исследований, как на стадии планирования геологической съемки,

так и для уточнения закартированных геологических объектов. Особенно актуально ее применение для изучения труднодоступных районов.

Эти данные также необходимы для анализа сейсмичности в рамках концепции блокового строения земной коры и выделения систем активных разломов, определяющих характер сейсмичности Дальневосточного региона.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврикова С.Н., Николаева Л.Л., Галанин А.В. и др. Ранний докембрий южной части Становой складчатой области. М.: Недра, 1991. 171 с.
2. Геологическая карта Российской Федерации. 1: 1 000 000. Лист О-(50), 51 - Алдан: Объясн. зап. СПб.: ВСЕГЕИ, 1998.
3. Геологическая карта СССР. 1: 1 000 000. Лист 0-52, (53)-Томмот: Объясн. зап. Л.: ВСЕГЕИ, 1986.
4. Государственная геологическая карта СССР. 1: 1 000 000 (новая серия). Лист О-(53), 54-Охотск: Объясн. зап. Л.: Недра, 1982.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1: 1 000 000. Лист N-51- Сковородино: Объясн. зап. СПб.: ВСЕГЕИ, 2008.
6. Геологическая карта СССР. 1: 1 000 000 (новая серия). Лист N-52, (53)-Зей: Объясн. зап. Л.: Недра, 1985.
7. Геологическая карта Хабаровского края и Амурской области. 1:2 500 000: Объясн. зап. / Науч. ред. Л. И. Красный. Хабаровск, 1991. 49 с.
8. Ковач В.П., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. и др. Sm-Nd изотопная систематика курумканской толщи иенгрской серии Алданского щита // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1996. Т. 4, № 3. С. 3–10.
9. Космическая фотосъемка и геологические исследования / Под ред. Г. Б. Гониной, С. И. Стрельникова Л.: Недра, 1975. 416 с.
10. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Отв. ред. Л.М. Парфенов, М.И. Кузьмин. М.: Наука/Интерпериодика, 2001. 571 с.
11. Koenderink, J.J. "The structure of images" // Biological Cybernetics 1984. V. 50. P. 363–370.
12. Lindeberg, T.: On the axiomatic foundations of linear scale-space: Combining semi-group structure with causality vs. scale invariance. / J. Sporring et al. (eds.) // Gaussian Scale-Space Theory: Proc. PhD School on Scale-Space Theory, (Copenhagen, Denmark, May 1996). Kluwer Academic Publi. 1997. P. 75–98.
13. Romeny, B. t. H. Front-end vision and Multi-scale image analysis. Kluwer/Springer. (2003).

*Рекомендована к печати А.Н. Диденко*