© В.В. Таскин, М.Д. Сидоров,
С.В. Паламарь, 2014

УДК 528.77;551.243.8

В.В. Таскин, М.Д. Сидоров, С.В. Паламарь

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ РАЗДРОБЛЕННОСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ГЛУБИНУ ПО ДАННЫМ ДЕШИФРИРОВАНИЯ АЭРО- КОСМОСНИМКОВ

Многие исследователи считают области повышенной раздробленности земной коры перспективными на полезные ископаемые. На выделение деструктированных зон и участков направлены многие традиционные методы исследований, в том числе геолого-геофизические. В то же время, развитие космических и информационных технологий позволяет получать независимые данные о внутреннем строении земной коры. Один из возможных методов оценки степени тектонической раздробленности на глубину используя результаты дешифрирования аэро- космоснимков разработан Ю.В. Нечаевым. Данный метод применялся в настоящей работе для количественной оценки степени тектонической раздробленности блока коры в районе г. Петропавловска-Камчатского. В качестве исходных данных использовались результаты опытно-методических работ, проводившихся в 1989–1995 гг., а именно карты трещинной тектоники, а также схемы кольцевых и вулканотектонических структур составленные по результатам дешифрирования аэро- космоснимков различной детальности. Обработка карт по предложенному методу позволила установить зависимость изменения степени тектонической раздробленности по мере увеличения глубины. На полученном графике отразилась граница кайнозойских отложений и мезозойского фундамента, которые имеют различные реологические свойства.

Ключевые слова: дешифрирование, линеаментный анализ, удельная длина линеаментов, трехмерная матрица распределения, область пониженной/повышенной раздробленности, аэро- космоснимок, площадь ячейки.

Введение. Области повышенной тектонической раздробленности земной коры многими исследователями считаются перспективными на различные полезные ископаемые [2, 4]. На выявление деструктированных зон и участков ориентировано многие традиционные геолого-геофизическиие методы исследований. Одновременно, развитие информационных и космических технологий стимулирует появление инновационных способов получения данных о внутреннем строении земной коры. Метод оценки степени тектонической раздробленности земной коры на глубину по результатам дешифрирования космических изображений поверхности Земли представлен в работах [1, 6].

Основы методологического подхода. Метод основывается на эмпирически установленном правиле о том, что замеренная трещиноватость одной грани образца горной породы кубической формы справедливо отражает степень трещиноватости всего образца. С учетом принципа подобия – основного при модельном решении задач тектоники [5], это правило справедливо аппроксимируется при рассмотрении объектов макроскопического масштаба.

Реализация метода заключается в представлении верхней части коры исследуемой области набором кубиков с ребром a и, с учетом установленного правила, а также принципа подобия, оценки степени тектонической раздроб-

ленности каждого из них. Исходным материалом для этого являются выделенные дешифрированием аэро- космоснимков линеаменты, связанные с геологическими неоднородностями.

В целом, коэффициент тектонической раздробленности блока пород определяется нормированием объема трещин и пустот к общему. Имея куб породы с ребром a, коэффициент примет значение $\sum b \cdot h \cdot l/a^3$, где b – ширина раскрытия, h – глубина проникновения, l – длина трещин. Дешифрируя фотоизображение поверхности Земли, с которой совпадают видимые грани кубиков, определяемой является лишь длина трещин (линеаментов) в пределах этих граней. Ширина трещин может быть принята усредненной для некоторой конкретной (с однородными реологическими свойствами) территории, т.е. b = const, а глубина принимается равной значению a. Таким образом, при расчете коэффициента тектонической раздробленности в принятых условиях, изменяемыми величинами остаются лишь a и l, а суммарная длина линеаментов в пределах видимой грани кубика, отнесенная к ее площади, т.е. удельная длина линеаментов (УДЛ) устанавливает степень раздробленности всего кубика – $\sum l/a^2$ и присваивается его центру. Задавая размер стороны кубика a, изменяется глубина положения исследуемого уровня коры – $a/2$.

Результаты. Применив изложенный в [1, 6] метод, мы получили трехмерную матрицу распределения УДЛ для блока земной коры района г. Петропавловска-Камчатского. В качестве исходных данных использовались карты трещинной тектоники, а также схемы кольцевых и вулканотектонических структур составленные по результатам дешифрирования аэро- космоснимков различной детальности в ходе выполнения опытно-методических работ в 1989–1995 гг. [3]. Оцифровкой и пространственной привязкой карт получена общая карта линеаментной сети этой территории, которая затем поочередно накрывалась квадратными сетками с увеличивающимся размером ячейки в каждом последующем цикле от 1 до 6 км. Шаг составлял 0,2 км. В каждой ячейке измерялась длина линеаментов и делилась на ее площадь. Таким образом, полученная матрица содержит 26 уровней по вертикали. Верхняя и нижняя грани располагаются на глубинах 0,5 и 3 км ниже уровня моря соответственно т.к. этот слой коры представляет наибольший интерес в практическом плане.

По средним значениям УДЛ, вычисленным для каждого уровня полученной матрицы (точки на рис. 1, *а*), построен график изменения степени тектонической раздробленности по мере увеличения глубины (штрихпунктирная линия, рис. 1, *а*).

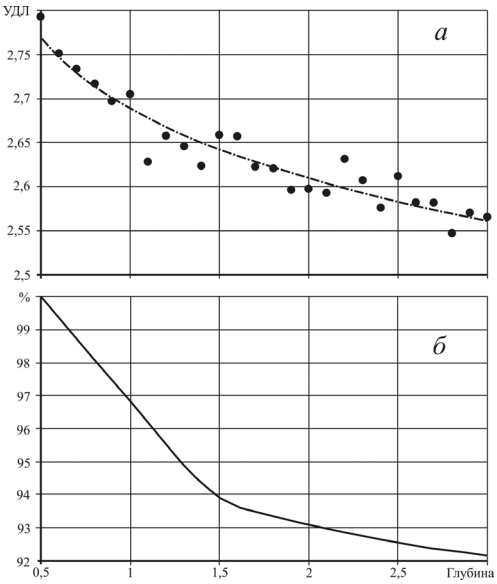

График изменения степени тектонической раздробленности блока земной коры с увеличением глубины, построенный по результатам дешифрирования аэро- космоснимков: а) – выражен непосредственно в значениях УДЛ (км$^{-1}$), б) – в процентном соотношении

Полученный нами график имеет вид кусочно-монотонной функции, с линейной зависимостью в отрезках. Если принять усредненное значение УДЛ слоя пород располагающихся на глубине 0,5 км за 100%, то на глубине 3 км степень раздробленности материала падает на 8% (рис. 1, *б*). Полученный график может быть условно разделен на две части. Выше 1,5–2 км, где отмечается более высокий градиент раздробленности и ниже этих отметок (рис. 1, *б*).

Отметим, что верхняя часть коры исследованной территории имеет двучленное строение. Верхний слой представлен вулканическими и осадочными отложениями кайнозоя, залегающими на мезозойском фундаменте (нижний слой). Эти генерализованные слои имеют различные реологические свойства, что, видимо, нашло отражение на графике в виде двух отрезков с разными градиентами. Точка излома графика (около 1,5 км) близка к средней глубине залегания фундамента для большей части исследованной территории [8]. Данный факт может быть использован для оперативных оценок глубины залегания границ раздела между толщами с резко отличающимися реологическими свойствами, а при локализации и детализации матрицы УДЛ – для картирования таких структурных поверхностей.

Заключение. В условиях стремительно развивающихся космических и информационных технологий появляются инновационные подходы к изучению внутреннего строения Земли. По предложенной Нечаевым Ю.В. методике нами обработаны результаты дешифрирования аэрокосмоснимков различной детальности и масштаба. Этим получена трехмерная матрица распределения УДЛ, которая единолично характеризует степень тектонической раздробленности исследуемого блока земной коры. Используя матрицу, установлена зависимость степени раздробленности области коры от ее гипсометрической отметки. Матрица содержит 26 слоев по вертикали, что соответствует глубинам исследования 0,5–3 км с шагом 100 м. Для каждого уровня было вычислено среднее значение УДЛ и проанализирован характер изменения степени раздробленности с увеличением глубины. Эффект уменьшения развития тектонических неоднородностей отмечается многими исследователями, но количественной оценки этого процесса по данным дешифрирования в литературе не обнаружено. По полученным данным, усредненная степень тектонической раздробленности исследуемого блока коры уменьшается на 8% с глубины 500 м до 3 км. Расположение границы между слоями вулканических и осадочных отложений кайнозоя, а также мезозойского фундамента на глубине около 1,5 км находит отражение на графике в виде перегиба, в котором происходит смена градиента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богатиков О.А., Нечаев Ю.В., Собисевич А.Л.* Использование космических технологий для мониторинга геологических структур вулкана Эльбрус // Доклады Академии наук. – 2002. – Т. 387. – № 3. – С. 1–6.

2. *Василевский М.М.* Структуры разрушения и прогноз рудоносности. – М.: Наука, 1982. – 151 с.

3. *Ворожейкина Л.А., Скоробогацко Л.С., Соколков В.А.* Отчет об опытно-методических работах по применению геологоструктурных, гидрогеологических, геофизических и дистанционных критериев поиска термальных вод на закрытых площадях. – Петропавловск-Камчатский, 1995.

4. *Гаврилов В.П.* Феноменальные структуры Земли. – М.: Наука, 1978. – 142 с.

5. *Гзовский М.В.* Основы тектонофизики. – М.: Наука, 1975. – 535 с.

6. *Нечаев Ю.В.* Линеаменты и тектоническая раздробленность. Дистанционное изучение внутреннего строения литосферы. – М.: ИФЗ РАН, 2010. – 215 с.

7. *Ткачук Э.И.* Закономерности вертикальной изменчивости параметров трещиноватости и фильтрационных свойств скальных массивов // Инженерная геология. – 1992. – № 4. – С. 3–26.

8. *Шеймович В.С., Сидоров М.Д.* Строение фундамента вулканического пояса Юго-восточная Камчатка. // Вулканология и сейсмология. – 2000. – № 5. – С. 68–75. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Таскин Виталий Витальевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: taskin-v@yandex.ru,
Сидоров Михаил Дмитриевич – кандидат геолого-минералогических наук, зав. лабораторией, e-mail: smd52@mail.ru,
Паламарь Сергей Владимирович – научный сотрудник, e-mail: veterkam4@mail.ru,
Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения РАН.

UDC 528.77;551.243.8

DEGREE OF TECTONIC BREAK OF EARTH CRUST ASSESSMENT ON THE DEPTH BY DATA OF AERIAL AND SATELLITE IMAGES DECIPHERMENT

Taskin V.V., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, e-mail: taskin-v@yandex.ru,
Sidorov M.D., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Laboratory, e-mail: smd52@mail.ru,
Palamar S.V., Researcher, e-mail: veterkam4@mail.ru,
Scientific Research Geotechnological Centre, Far Eastern Brunch of Russian Academy of Sciences.

Most researchers consider high fractured areas of Earth crust perspective on minerals. An allocation of the destructed zones and parts is task of many traditional methods of research, including geologic-geophysical. At the same time, development of space and information technologies allows to obtain data about internal structure of Earth crust independently of geophysical researches. One of possible methods of assessment of degree of tectonic break on depth using results of aerial and satellite images decipherment developed by Yu.V. Nechaev. This method was used in the present work for a quantitative assessment of tectonic break degree of the block of crust near Petropavlovsk-Kamchatsky. As initial data we used the results of experimental and methodological works which were carried out in 1989–1995, namely maps of tectonic cracks and schemes of ring and volcano-tectonic structures created as of decipherment of aerial and satellite images with different detail. Maps processing according offered method allowed establishing dependence of change of tectonic break degree with depth increasing. The border of Cainozoic deposits and Mesozoic basement, which have different rheological properties, was reflected in the received graph.

Key words: decipherment, lineament analysis, specific length of lineaments, 3-D matrix of distribution, low/high fractured area, aerial image, satellite image, cell square.

REFERENCES

1. Bogatikov O.A., Nechaev Yu.V., Sobisevich A.L. *Doklady Akademii nauk*, 2002, vol. 387, no 3, pp. 1–6.

2. Vasilevskii M.M. *Struktury razrusheniya i prognoz rudonosnosti* (Damage structures and ore content forecasting), Moscow, Nauka, 1982, 151 p.

3. Vorozheikina L.A., Skorobogatsko L.S., Sokolkov V.A. *Otchet ob opytno-metodicheskikh rabotakh po primeneniyu geologostrukturnykh, gidrogeologicheskikh, geofizicheskikh i distantsionnykh kriteriev poiska termal'nykh vod na zakrytykh ploshchadyakh* (Report on field trial of geological-structural, hydrogeological, geophysical and remote criteria of search of thermal water in subsurface), Petropavlovsk-Kamchatskii, 1995.

4. Gavrilov V.P. *Fenomenal'nye struktury Zemli* (Phenomenal structures of the Earth), Moscow, Nauka, 1978, 142 p.

5. Gzovskii M.V. *Osnovy tektonofiziki* (Basics of tectonophysics), Moscow, Nauka, 1975, 535 p.

6. Nechaev Yu.V. *Lineamenty i tektonicheskaya razdroblennost'. Distantsionnoe izuchenie vnutrennego stroeniya litosfery* (Lineaments and tectonical subdivision. Remote study of internal structure of the lithosphere), Moscow, IFZ RAN, 2010, 215 p.

7. Tkachuk E.I. *Inzhenernaya geologiya*, 1992, no 4, pp. 3–26.

8. Sheimovich V.S., Sidorov M.D. *Vulkanologiya i seismologiya*, 2000, no 5, pp. 68–75.