УДК 551.24:550.34 ЛИНЕЙНЫЕ ИНДИКАТОРЫ АНОМАЛИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ АЛДАНСКОГО ЩИТА И СТАНОВОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА И СЕЙСМИЧНОСТЬ

Тусикова С.А.

Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Хабаровск, e-mail: svetabon@list.ru

Представлены результаты построений линейных элементов аномального магнитного поля восточного фланга Алдан-Станового блока. Проведено сопоставление пространственных линейных структур, выполненных в различных программных средах, с использованием количественных и качественных методов линеаментного анализа на основе карт гравитационного и магнитного полей и цифровых моделей рельефа. Разработанная технология построения систем линеаментов по аномалиям магнитного поля представлена рядом последовательных процедур. Оцифровка исходных карт производится в программе MapInfo, в результате которой создается файл формата «tab». Для создания матрицы с равномерной сеткой данных «tab» экспортируется в форматы «mif» (графическая информация) и «mid» (текстовая информация). Для хранения регулярных и нерегулярных сетей посредством геоинформационной системы Integro создаётся таблица «объект - свойство». При работе с утилитой «Пересчёт на сеть» был использован метод многоуровневой b-сплайн интерполяции, в результате применения которого на выходе создаётся файл с расширением «tos». Данный файл служит основой для дальнейшей работы в программном комплексе КОСКАД 3D. Для выделения систем линеаментов выполняется разложение полученной сети (оцифрованных данных аномального магнитного поля) на составляющие. На последнем этапе производится трассирование осей аномалий. Качественное сопоставление пространственного распределения увеличенной плотности линейных элементов геофизических полей с полем распределений эпицентров землетрясений позволяет ассоциировать данные области с зонами активного деформирования земной коры.

Ключевые слова: геофизические поля, линейные структуры, цифровая модель, линеаменты, Алдано-Становой блок

LINEAR INDICATORS OF GEOMAGNETIC ANOMA LIES IN THE EASTERN ALDANIA SHIELD AND THE STANOVOY FOLDED AREA: SPATIAL PATTERN AND SEISMICITY

Tusikova S.A.

Yu. A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics FEB RAS, Khabarovsk, e-mail: svetabon@list.ru

The results of constructing linear elements of the anomalous magnetic field in the eastern flank of the Aldan-Stanovoy block are presented. The spatial linear structures were constructed in different software environments. Based on the gravity and magnetic maps and the digital elevation models, their comparison has been made using quantitative and qualitative methods of lineament analysis. The developed technology of constructing the lineament systems based on magnetic anomalies involves a number of successive procedures. The original map digitization is performed in the program MapInfo, which results in the creation of the «tab» format file. In order to create a matrix with a uniform grid of data, the «tab» file is exported to the «mif» (graphic information) and «mid» (text information) formats. For the regular and irregular network storage by using the Integro geoinformation system, an object-property table is created. During the operation of «Recalculation on the network» utility, a multi-level b-spline interpolation method was used. As a result, the file with a «tos» extension has been created on the output. This file serves as a basis for further operating the COSCAD 3D software package. To isolate the lineament systems, the obtained network (digitized data of the anomalous magnetic field) is decomposed into components. At the final stage, tracing of the anomaly axes is performed. A qualitative comparison of spatial distribution of more densely distributed linear elements of the goophysical fields with the field of distributions of earthquake epicenters allows us to confine these areas to the zones of active crustal deformation.

Keywords: geophysical fields, linear structures, digital model, lineaments, Aldan-Stanovoy block

Современные представления о природе линеаментов как объектов Алдано-Станового блока, отражающих делимость литосферы и межблоковые структуры, сформировались на основе многочисленных исследований тектонических критериев сейсмичности [1–3], по моделированию геофизических полей [4, 5], структурных форм рельефа [6], геологических формаций [7], сейсмичности изучаемой территории [8, 9]. Восточная часть Алданского щита и Становой складчатой области (Алдано-Становой блок) приурочена к современной границе Евразиатской и Амурской литосферных плит, интенсивность тектонических процессов которой контролируется современной сейсмичностью с ожидаемыми сотрясениями в 6–9 баллов (M = 4,5–6,5) [1].

Аномалии гравитационного и магнитного полей отражают свойства вещества земной коры и верхней мантии. Получен-

ные результаты моделирования в работах [10, 11] свидетельствуют также о взаимосвязи аномалий со структурами рельефа и сейсмичностью. При этом шовные зоны, разделяющие блоки, фиксируются в региональном магнитном поле положительными аномалиями [7].

Сопоставлением аномалий геофизических полей Алдано-Станового блока с разломной тектоникой установлено, что все региональные разломы находят свое отражение в аномалиях геофизических полей типа гравитационных ступеней и линейных магнитных аномалий [7] и отражаются в виде протяженных зон линеаментов [12].

Технология геометрических построений линейных индикаторов разломов методами статистического анализа пространственной структуры геофизических полей и рельефа представлены в работах [3, 12]. Аналогично данному исследованию по структуре рельефа выделяются максимумы направленности структур северо-восточного и северо-западного направлений с применением программы WinLessa [6].

Для Алдано-Станового блока по геофизическим полям наиболее контрастно проявляется система линеаментов в азимутах (40-310°) ± 3 [3], которая контролирует эпицентральные поля современной сейсмичности [9], а меридиональные и широтные зоны линеаментов - зоны пластического течения Алданского щита [12].

Наиболее важным вопросом при изучении линеаментных структур является их пространственная корреляция с сейсмическим процессом [13]. Так как изучаемый район относится к зоне высокой сейсмической активности [1, 2], то долгосрочный прогноз места и времени сильных землетрясений определяет актуальность данного исследования.

В геологической практике выявления и изучения линеаментов используются различные методы: прямые и косвенные, качественные и количественные, основы которых заложены в фундаментальной работе [4]. Прямые и косвенные методы поиска, выделения и изучения линеаментов образуют вместе комплекс качественных методов поиска и выявления линеаментов.

Количественные методы подразумевают построение роз-диаграмм или гистограмм простираний линеаментов, в виде карт роздиаграмм линеаментов или карт удельной длины линеаментов и в виде различных графиков [3].

В данной работе показаны результаты построения линеаментов по линейным индикаторам аномалий геомагнитного поля в программном комплексе КОСКАД 3D [14], на основе которых построена схема линейных элементов геофизических полей восточной области Алдано-Станового блока.

Построение систем линеаментов по аномалиям магнитного поля

Технологию построения систем линеаментов по аномалиям магнитного поля можно разделить на ряд последовательных процедур. На первом этапе подготовки данных производится оцифровка исходных карт в программе MapInfo, при этом используются карты аномального магнитного поля масштаба 1:1 000 000. В результате получается файл формата tab с картой изолиний, каждой из которых присваивается значение интенсивности магнитного поля.

Далее для получения матрицы с равномерной сеткой производится экспорт полученного файла в форматы mif (графическая информация) и mid (текстовая информация), которые позволяют сопоставлять различным графическим элементам настраиваемые данные.

Для дальнейшей работы с файлами необходим отдельный тип данных, предназначенный для хранения регулярных и нерегулярных сетей (таблица объект – свойство (ТОС)), который создаётся посредством геоинформационной системы Integro. При работе с утилитой «Пересчёт на сеть» для построения систем линеаментов используется метод многоуровневой b-сплайн интерполяции.

В результате выполнения данных процедур на выходе создаётся файл с расширением tos, который служит основой для дальнейшей работы в программном комплексе КОСКАД 3D, по методике [15].

Для выделения линеаментов выполняется разложение сети на составляющие: локальную и региональную. Использование локальной компоненты позволяет проводить трассировку линеаментов в различных азимутах. В качестве примера на рис. 1 приведены результаты построения систем линеаментов в азимутах (26-296)⁰ по магнитным и гравитационным аномалиям с использованием исходных карт масштаба 1:500 000 [13].

Можно отметить, что максимумы плотности линейных элементов геофизических полей в азимутах группируются по границам геоморфологических структур и образуют регулярные пространственные решетки (рис. 1), что согласуется с результатами предшествующих исследований [3, 12] для

центральной и западной частей Алданского щита, соответствуют задачам, определенным в работе [13]. Размер решеток (доменов) составляет (1–1,5)⁰, что примерно равно (120–150) км. Причем выдержанность направлений в пространстве групп линеаментов сохраняется при переходе от поднятий (Алданский щит) к впадинам (северная и южная области моделирования).

При использовании региональной компоненты производится трассирование осей аномалий в программном комплексе КОСКАД 3D. В окончательном виде получается изображение карты линеаментов пространственной выдержанности аномалий магнитного поля. Результаты построений по описанной технологии показаны на рис. 2, 3.

Качественное сопоставление распределения линеаментов, выделенных по локальным аномалиям (рис. 1) и по региональной компоненте магнитного поля (рис. 2, 3) показывает, что в центральной области исследования плотность линеаментов одинаково выдержана в пространстве в северо-западном направлении (в азимуте 296⁰). Ортогональная система линеаментов северо-восточного простирания азимутом 26⁰, характерно проявляющаяся на локальной компоненте (рис. 1), в региональном плане представлена фрагментарно в юго-восточном сегменте области моделирования (рис. 2, 3). В центральном сегменте, в пределах (55-57)⁰ СШ по рис. 2, 3 выделяется доменная ромбическая структура размером (2-2,5)⁰ (см. рис. 2).



Рис. 1. Система линеаментов геофизических полей восточного фланга Алдано-Станового блока в азимутах (26–296)⁰ с эпицентрами землетрясений (по [6, 8]) на топографической основе

Рис. 2. Система линеаментов региональной компоненты аномального магнитного поля восточного фланга Алдано-Станового блока с эпицентрами землетрясений. Обозначения: 1 – индикаторы линейных элементов отрицательных магнитных аномалий; 2 – эпицентры землетрясений с магнитудами M ≥ 2





Рис. 3. Система линеаментов региональной компоненты аномального магнитного поля восточного фланга Алдано-Станового блока с эпицентрами землетрясений. Обозначения: 1-индикаторы линейных элементов положительных магнитных аномалий; 2 – эпицентры землетрясений с магнитудами М≥2

Севернее 58°, по региональной компоненте магнитного поля, системы линеаментов трассируются в меридиональных и субмеридиональных (рис. 2, 3) азимутах. При этом можно отметить уменьшение общего числа линеаментов в данном сегменте области моделирования.

Для южного сегмента характерно сохранение общего рисунка линеаментов при переходе от Алдано-Станового блока к обрамляющей его впадине.

Выводы

Отличительной особенностью построений систем линеаментов по аномалиям магнитного поля, представленных в данном исследовании, является раздельное представление линеаментов отрицательных (рис. 2) и положительных (рис. 3) аномалий. На данном этапе изучения структуры линеаментов можно отметить качественное подобие общего плана распределения систем линеаментов положительных и отрицательных аномалий магнитного поля. Это может свидетельствовать о закономерном чередовании пространственных структур с различными физическими свойствами горных пород.

Широтные и меридиональные структуры (линеаменты), выделенные автором [4] в центральной и западной части Алдано-Станового блока, в данной области представлены сериями непротяженных линеаментов в полосе (57-58)⁰ и отдельными меридиональными линеаментами.

Доменная структура, выделяемая качественно (рис. 2) по региональной компоненте магнитного поля в центральной части (рис. 2), фактически состоит их 4-х вложенных доменов (рис. 1). Тем самым подтвержден результат исследования авторов [12] о наличии в пределах Алдано-Станового блока самоподобных пространственных структур.

В ряде работ показано [3, 9, 11], что в систему линеаментов укладываются пространственные распределения эпицентров землетрясений, а к осевым линиям повышенной плотности линеаментов приурочены очаги сильных землетрясений.

Задачей данного исследования было определено именно построение систем линеаментов и установление качественных взаимосвязей их с распределением эпицентров землетрясений. В этой связи можно отметить, что вытянутость линий южнее 57° СШ имеет преимущественно северозападное простирание, согласно которому распределены эпицентры землетрясений. Эпицентры сильных землетрясений, которые на рис. 2, 3 отмечены коричневым цветом, пересекаются отдельными линеаментами или отрицательных, или положительных аномалий.

Ланное исследование выполнено в рамках НИР лаборатории сейсмологии и сейсмотектоники ИТиГ ДВО РАН при финансовой поддержке проекта гранта Российского научного фонда (РНФ) 16-17-00015.

Список литературы

1. Имаева Л.П., Имаев В.С., Козьмин Б.М., Семенов Р.М., Маккей К.Г., Гриб Н.Н., Никитин В.М. Сейсмическая опасность и современная геодинамика Токинского Становика. - Нерюнгри: изд-во Технического института СВФУ, 2009. – 157 с.

2. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сейсмогеодинамика Алдано-Станового блока // Тихоокеанская геология. - 2012. - Т. 31, № 1. - С. 5-17.

3. Трофименко С.В. Тектоническая интерпретация статистической модели распределений азимутов аномалий гравимагнитных полей Алданского щита // Тихоокеанская геология. – 2010. – Т. 29, № 3. – С. 64–77.

4. Малышев Ю.Ф. Геофизическое исследование докембрия Алданского щита. – М.: Наука, 1977. – 127 с.

5. Статива А.С., Трофименко С.В., Гриб Н.Н. Анализ существующих представлений о тектонике Алданского щита // Горный информационно-аналитический бюллетень (научнотехнический журнал). – 2006. – Т. 17, № 3. – С. 167–189.

6. Gilmanova G.Z., Shevchenko B.F., Rybas O.V. et al. Linear geological Structures of the Southern Aldan-Stanovoi Shield and Eastern Central-Asian Foldbelt: the geodynamic aspect // Russian Journal of Pacific Geology. – 2012. – vol. 6, № 1. – P. 52–60.

7. Стогний Г.А., Стогний В.В. Геофизические поля восточной части Северо-Азиатского кратона. – Якутск: ГУП НИПК «Сахаполиграфиздат», 2005. – 174 с.

8. Трофименко С.В., Гриб Н.Н. О возможности прогноза эпицентра сильного землетрясения по структуре сейсмического поля Олекмо-Становой зоны // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2006. – Т. 17, № 3. – С. 189–193.

9. Трофименко С.В. Геофизические поля и сейсмичность Южной Якутии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – Т. 17, № 1. – С. 188–196.

10. Трофименко С.В., Гриб Н.Н., Никитин В.М., Статива А.С. Интерпретация статистической модели аномалий гравимагнитных полей Алданского щита // Наука и образование. – 2011. – № 1 (61). – С. 40–45.

11. Трофименко С.В., Гильманова Г.З., Никитин В.М., Колодезников И.И. Линеаментный анализ пространственного поля сейсмичности северного сегмента Амурской микроплиты // Наука и образование. – 2016. – № 1 (81). – С. 7–13.

12. Trofimenko S.V., Grib N.N., Melnikov A.A., Merkulova T.V. Systems of Lineaments of Magnetic and Gravity Anomalies in the Zone of Convergent Interaction of the Amur and the Eurasian Tectonic Plates // Modern Applied Science. – 2015. – vol. 9, Ne 8. – P. 195–203. URL: http://dx.doi. org/10.5539/mas.v9n3p195.

13. Тусикова С.А., Колягина О.А. Линейные элементы геофизических полей восточной части Алдано-Станового блока. Обзор работ и первые результаты // Инновационная парадигма устойчивого развития науки. Теория и практика: сборник научных статей международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 15–16 декабря 2016 г.). – СПб.: Изд-во: КультИнформПресс, 2016. – С. 23–26.

14. Петров Д.Б., Юдин Хоу Сюели. Обработка и интерпретация геофизических данных методами вероятностностатистического подхода с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3D» // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. – 2010. – № 2. Выпуск № 16. – С. 126–132.

15. Трусов А.А., Петров А.В. Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа трехмерной геоинформации – КОСКАД 3D // Геофизика. – 2000. – № 4. – С. 29–33.

References

1. Imaeva L.P., Imaev V.S., Kozmin B.M., Semenov R.M., Makkej K.G., Grib N.N., Nikitin V.M. Sejsmicheskaja opasnost i sovremennaja geodinamika Tokinskogo Stanovika. Nerjungri: izd-vo Tehnicheskogo instituta SVFU, 2009. 157 p.

2. Imaev V.S., Imaeva L.P., Kozmin B.M. Sejsmogeodinamika Aldano-Stanovogo bloka // Tihookeanskaja geologija. 2012. T. 31, no. 1. pp. 5–17.

3. Trofimenko S.V. Tektonicheskaja interpretacija statisticheskoj modeli raspredelenij azimutov anomalij gravimagnitnyh polej Aldanskogo shhita // Tihookeanskaja geologija. 2010. T. 29, no. 3. pp. 64–77.

4. Malyshev Ju.F. Geofizicheskoe issledovanie dokembrija Aldanskogo shhita. M.: Nauka, 1977. 127 p.

5. Stativa A.S., Trofimenko S.V., Grib N.N. Analiz sushhestvujushhih predstavlenij o tektonike Aldanskogo shhita // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten (nauchno-tehnicheskij zhurnal). 2006. T. 17, no. 3. pp. 167–189.

6. Gilmanova G.Z., Shevchenko B.F., Rybas O.V. et al. Linear geological Structures of the Southern Aldan-Stanovoi Shield and Eastern Central-Asian Foldbelt: the geodynamic aspect // Russian Journal of Pacific Geology. 2012. vol. 6, no. 1. pp. 52–60.

7. Stognij G.A., Stognij V.V. Geofizicheskie polja vostochnoj chasti Severo-Aziatskogo kratona. Jakutsk: GUP NIPK «Sahapoligrafizdat», 2005. 174 p.

8. Trofimenko S.V., Grib N.N. O vozmozhnosti prognoza jepicentra silnogo zemletrjasenija po strukture sejsmicheskogo polja Olekmo-Stanovoj zony // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten (nauchno-tehnicheskij zhurnal). 2006. T. 17, no. 3. pp. 189–193.

9. Trofimenko S.V. Geofizicheskie polja i sejsmichnost Juzhnoj Jakutii // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten (nauchno-tehnicheskij zhurnal). 2007. T. 17, no. 1. pp. 188–196.

10. Trofimenko S.V., Grib N.N., Nikitin V.M., Stativa A.S. Interpretacija statisticheskoj modeli anomalij gravimagnitnyh polej Aldanskogo shhita // Nauka i obrazovanie. 2011. no. 1 (61). pp. 40–45.

11. Trofimenko S.V., Gilmanova G.Z., Nikitin V.M., Kolodeznikov I.I. Lineamentnyj analiz prostranstvennogo polja sejsmichnosti severnogo segmenta Amurskoj mikroplity // Nauka i obrazovanie. 2016. no. 1 (81). pp. 7–13.

12. Trofimenko S.V., Grib N.N., Melnikov A.A., Merkulova T.V. Systems of Lineaments of Magnetic and Gravity Anomalies in the Zone of Convergent Interaction of the Amur and the Eurasian Tectonic Plates // Modern Applied Science. 2015. vol. 9, no. 8. pp. 195–203. URL: http://dx.doi.org/10.5539/mas. v9n3p195.

13. Tusikova S.A., Koljagina O.A. Linejnye jelementy geofizicheskih polej vostochnoj chasti Aldano-Stanovogo bloka. Obzor rabot i pervye rezultaty // Innovacionnaja paradigma ustojchivogo razvitija nauki. Teorija i praktika: sbornik nauchnyh statej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii (Sankt-Peterburg, 15–16 dekabrja 2016 g.). SPb.: Izd-vo: Kult-InformPress, 2016. pp. 23–26.

14. Petrov D.B., Judin Hou Sjueli. Obrabotka i interpretacija geofizicheskih dannyh metodami verojatnostno-statisticheskogo podhoda s ispolzovaniem kompjuternoj tehnologii «KO-SKAD 3D» // Vestnik KRAUNC. Nauki o zemle. 2010. no. 2. Vypusk no. 16. pp. 126–132.

15. Trusov A.A., Petrov A.V. Kompjuternaja tehnologija statisticheskogo i spektralno-korreljacionnogo analiza trehmernoj geoinformacii KOSKAD 3D // Geofizika. 2000. no. 4. pp. 29–33.