УДК 551.311

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС MAPINFO ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ СЕЙСМИЧНОСТИ ПО СТАТИСТИКЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ АНОМАЛИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Трофименко С.В., Гриб Н.Н., Иванова Н.А., Никитин В.М.

Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, Нерюнгри, e-mail: trofimenko_sergei@mail.ru

Рассмотрена задача изучения геологических критериев сейсмичности. За основу критериев принята модель пространственной корреляции геологических формаций с зонами деформаций, выделенных по геофизическим признакам. Для построения деформационных зон изучена статистика пространственного распределения геофизических полей магнитной и гравитационной природы. В статистике азимутов аномалий выделены семь систем максимумов во взаимно ортогональных направлениях. Выделенные зоны увеличенной плотности аномалий геофизических полей ассоциированы с процессами деформации земной коры. Установлено, что пространственная плотность эпицентров землетрясений контролируется системами аномалий геофизических полей (деформационными зонами) в двух азимутах. Формальное сравнение пространственного положения геологических формаций с преобладающими зонами геофизических аномалий показывает приуроченность градиентов плотности очагов землетрясений к геологическим контактам горных пород различного возраста. Комплексные сейсмотектонические исследования позволили выявить взаимосвязи сейсмичности с особенностями геолого-структурного и тектонического плана территории.

Ключевые слова: земная кора, блоковое строение, геофизические поля, зоны деформаций, геологические формации, землетрясение, ГИС MapInfo

USING GIS MAPINFO FOR THE STUDY OF GEOLOGICAL CRITERIA SEISMICITY OF STATISTICS SPACE ANOMALY OF GEOPHYSICAL ENVIRONMENT

Trofimenko S.V., Grib N.N., Ivanova N.A., Nikitin V.M.

North-Eastern Federal University of MK Ammosov, Neryungri, e-mail: trofimenko_sergei@mail.ru

The problem of studying geological criteria of seismicity. The basis of the criteria adopted model of spatial correlation of geological formations and the crumple zones , identified by geophysical characteristics. For the construction of the deformation zones studied statistics of the spatial distribution of geophysical magnetic and gravitational fields of nature. In statistics azimuth anomalies identified seven systems highs in mutually orthogonal directions. Highlighted areas of increased density anomalies of geophysical fields associated to processes of deformation of the crust. Found that the spatial density of the epicenters of earthquakes controlled systems anomalies of geophysical fields (deformation zones) in two azimuths . A formal comparison of the spatial position of the geological formations with predominance of giving zones of geophysical anomalies shows the association of density gradients of earthquakes to geological contacts of rocks of different ages. Integrated seismic- tectonic studies have revealed the relationship with the characteristics of seismicity geological and tectonic structure plan area.

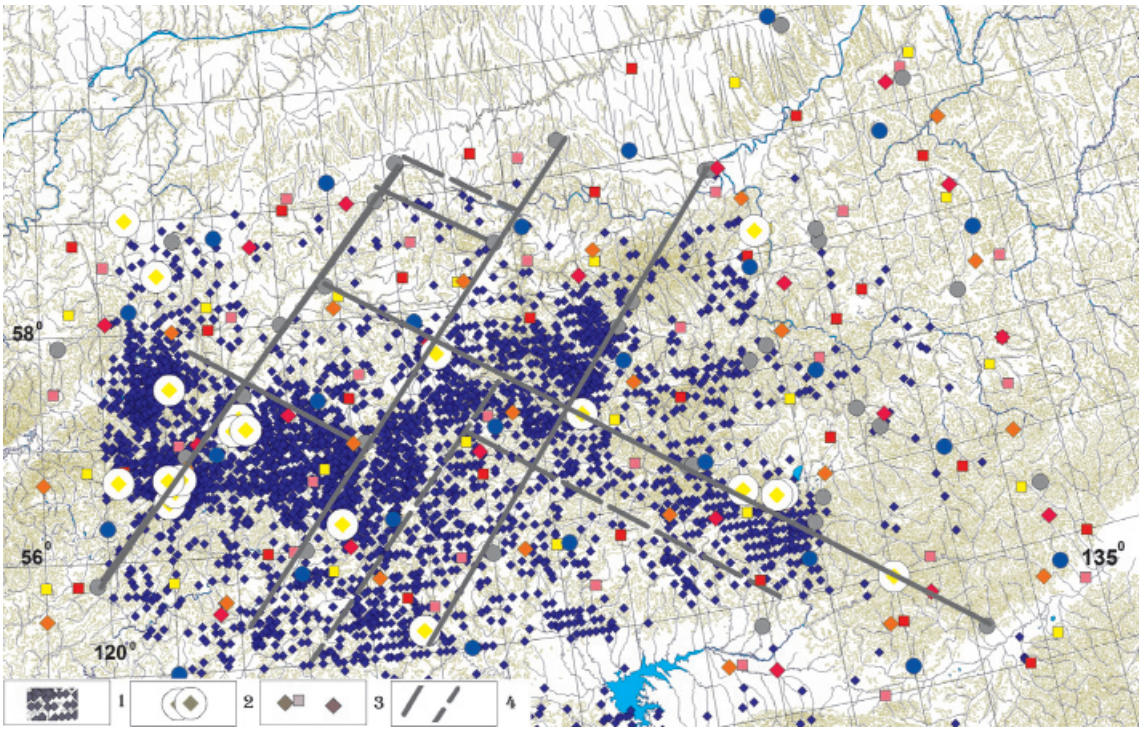
Keywords: Earth's crust, block structure, geophysical fields, crumple zones, geological formations, earthquake, MapInfo GIS

При статистическом моделировании пространственного размещения аномалий магнитного и гравитационного полей, геофизических признаков разломов было выделено семь взаимоортогональных систем доменов с азимутами простираний: 1 – (3–273°), 2 – (26*–296°), 3 – (35–305°*), 4 – (40–310°), 5 – ((60–64) – (330–334°)), 6 – (70–340°), 7 – (84–354°). Погрешность определения выделенного направления составила (±3° – ±5°) [5–7].

Построенная статистическая модель распределений аномалий геофизических полей Алданского щита нашла свое практическое применение при прогнозе зон сильных землетрясений Олекмо-Становой сейсмической зоны, при моделировании которой обычно рассматривают территорию от восточного фланга Байкальской рифтовой зоны на западе до Удской Губы на востоке, в пределах 120–135 ВД и 55-59° СШ [8–9].

Комплексные сейсмотектонические исследования авторов [10] позволили для Олекмо-Становой зоны выявить взаимосвязи сейсмичности с особенностями геолого-структурного и тектонического плана территории. Результаты этих исследований были сопоставлены с пространственным положением узлов выделенных систем (рисунок).

Западная группа землетрясений с магнитудой более 5 приурочена к узлу 5 порядка, т.е. к локальной зоне, в которой сходятся системы индикаторов с азимутами 3, 26, 40, 64 и 70° и пространственно укладывается в основную доменную структуру (40–310°). Простирание зон сгущения эпицентров землетрясений центральной части ОСЗ имеют общий азимут 310°.



Фрагмент пространственной структуры доменов ортогональной системы линейных элементов геофизических полей (индикаторов разломов) с азимутами (40–310°) с эпицентрами землетрясений Олекмо-Становой сейсмической зоны и узлами всех выделенных систем: 1 – эпицентры землетрясений; 2 – сильные землетрясения; 3 – узлы выделенных систем индикаторов разломов; 4 – осевые линии увеличенной плотности линейных индикаторов в азимутах (40–310°) 1 и 2-го порядков

Прогнозируемые сейсмогенные блоки вероятных очагов землетрясений располагаются в узлах системы 40–310° с пересечением широтных структур повышенной плотности узлов (рисунок).

В центре анализируемой области (координаты центра 126 ВД, 57СШ) выделяется зона шириной 30 и протяженностью 100 км, в которой сходятся шесть из семи систем. Данный узел 6 порядка приурочен к р. Тимптон (рисунок). Центр данной локальной зоны является узлом системы (40–310°) второго порядка. Данный блок является асейсмичным в настоящее время, однако по аналогии с западным узлом 5-го порядка может считаться одним из вероятных мест разрядки тектонических напряжений.

Данные закономерности позволяют предположить, что система 40–310° является активной в настоящее время и контролирует сейсмический процесс Олекмо-Становой сейсмической зоны.

Блоковая структура литосферы в современной концепции делимости земной коры разрабатывается на основе классических работ А.В. Пейве [2] и М.А. Садовского [3]. Имеющиеся данные прямо указывают на вращательный, крутильный и вихревой характер движения блоков, плит и других геологических структур планеты, на основании которых делается вывод о том, что каждый блок обладает самостоятельной движущей силой, связанной с вращением Земли. Многими авторами отмечается «самостоятельный», «собственный», «с ненулевыми дивергенциями и вихрями» и упругий характер таких движений, прямо связанных с вращением планеты [2]. Основным результатом такого рассмотрения в пределах Алданского щита явилось доказательство того, что статистические модели геофизических полей гравитационной и магнитной природы укладываются в строго ориентированные системы доменов, контролируемые докембрийскими тектоническими структурами [7, 9].

Построения ортогональных систем докембрийских разломов и геологических формаций Алданского щита основаны на разных геотектонических концепциях. Тем не менее в настоящее время считается, что концепция блокового строения геофизической (в смысле М.А. Садовского [3]) и геологической (в смысле А.В. Пейве [2]) сред наиболее полно соответствует всему имеющемуся комплексу геофизических и геологических данных о Земле. В связи с этим представляет несомненный интерес

выявление закономерных взаимосвязей между выделенными системами доменов по геофизическим полям и геологическими формациями.

С одной стороны, это чисто научная задача: определение порядка заложения выделенных систем разломов (систем доменов) и сравнение с аналогичными исследованиями, с другой стороны, прикладная – поиск закономерностей распространения металлогенических поясов Алданского щита, имеющая важное экономическое значение.

В качестве исходных материалов для выполнения данной работы использована карта масштаба 1:500 000 систем индикаторов разломов, построенная методом статистического анализа распределений геофизических аномалий магнитного и гравитационного полей [7, 8] по методике, разработанной авторами [11]. Для проведения анализа модели геофизической среды, ассоциируемые с докембрийскими разломами Алданского щита, были привязаны к структурно-формационной карте Южной Якутии (Алданский щит) масштаба 1:500 000 под редакцией Е.П. Максимова [4].

Пространственная взаимосвязь систем разломов (по геофизическим полям) Алданского щита с геологическими формациями устанавливалась методом факторного сопоставления исходных карт в масштабе 1:500 000 в геоинформационной картографической системе Map Info. Положительным считался результат, если в системы доменов с определенными азимутами простираний укладывались формации, в пространственном положении которых наблюдалась одна следующих закономерностей:

1) группа формаций или формация располагаются в пределах блоков земной коры, ограниченных доменами определенных систем;

2) линейно вытянутые области распространения формаций совпадают с положением протяженных зон определенных систем или имеют одинаковую с ними ориентировку;

3) в сложных контурах областей распространения формаций наблюдаются ориентировки их фрагментов, параллельные ориентировкам доменов определенных систем [8].

Для удобства описания положения систем доменов и их геологической позиции была принята схема районирования, предложенная Л.М. Реутовым и И.М. Фрумкиным [1].

Методика и технология построения статистических моделей геофизических полей гравитационной и магнитной природы подробно изложены в работе [5]. Получено следующее:

1. *Система доменов с азимутами простираний 3 и 273°.* Геологические формации, пространственно связанные с доменами данной системы, распространены преимущественно в Западном и Центральном регионах. В пределах Алдано-Нимнырского района Центрального региона простирание большинства участков, сложенных различными породами, субмеридиональное. Однако отмечается ряд исключений. Так, участки, сложенные породами метаморфизованной габбро-диабазовой формаций субганского комплекса, на западе и востоке Центрального региона имеют азимут простирания 340°. В Зверевском районе Центрального региона участки, сложенные сланцево-гнейсово-гранулитовой формацией Иенгрского комплекса, имеют азимут простирания 310°.

Следует отметить, что практически все разломы субмеридионального направления подчеркиваются породами мигматит-гранитовой формации. Приуроченность к разломам субширотного направления формаций Иенгрского и Курультино-Гонамского комплексов раннеархейского и катархейского возраста свидетельствуют о более ранней активизации системы с азимутами простираний 3 и 273°.

2. *Система доменов с азимутами простираний 26 и 296°.* Установлена четкая взаимосвязь ряда докембрийских геологических формаций и разломов с азимутами простираний 26 и 296°. В Алдано-Нимнырском районе в пределах блока распространены гнейсово-карбоиатная гранулитовая формация $\left(F_3^2 gcr\right)$ Тимптоно-джелтулинского комплекса раннеархейского возраста.

На востоке Алдано-Нимнырского района и в северной части Удоканского района наблюдаются многочисленные дайки долеритов. В пределах Суннагинского района наблюдается обширный участок протяженностью около 250 км, сложенный породами Майманакского комплекса раннерифейского возраста. Этот участок находится в пределах известного по литературе Учурского блока.

3. *Система разломов с азимутами простираний 32 и 302°.* Ведущую роль в формировании мигматит-гранитовой формации играли разломы систем с азимутами простираний 3 и 273°, 32 и 302°. Максимальные площади заняты описываемой формацией в полосе между отдельными доменами данной системы либо имеют вытянутость вдоль системы доменов. Закономерных связей других формаций с системой доменов с азимутами простираний 32 и 302° выявить не удается.

4. *Система доменов с азимутами простираний 40 и 310°.* Геологические формации, которые пространственно можно связать с данной системой разломов, сконцентрированы в Центральном регионе Алданского щита. Наиболее древняя базит-сланцево-гранулятовая формация (F_1bsr) развита вдоль отдельных доменов, которые ограничивают блок, в пределах которого развита сланцево-гнейсо-гранулитовая $\left(F_2^1 gsr\right)$ и базит-сланцево-гранулитовая (F_1bsr) формации. Гнейсово-гранулитовая формация $\left(F_2^1 gr\right)$ встречается на всей территории Центрального региона. Для участков, сложенных данной формацией, характерны ориентировки вдоль доменов системы с азимутами простираний 40 и 310°.

5. *Система доменов с азимутами простираний 61 и 331°.* Геологические формации, связь которых установлена с доменами данной системы, распространены на территории Центрального и Восточного регионов Алданского щита. В северной части Суннагинского района домены ограничивают блок, в пределах которого распространены породы сланцево-гнейсово-гранулитовой $\left(F_3^1 sgr\right)$, гнейсового-гранулитовой $\left(F_3^1 gr\right)$, гранат-гнейсово-гранулитовой $\left(F_3^2 ggr\right)$ и карбонат-гнейсово-гранулитовой $\left(F_3^2 cgr\right)$ формаций.

В пределах блока и по его границам, простирания геологических тел подчинены направлениям 61 и 331°. Область распространения карбонат-гнейсово-гранулитовой формации расположена в пределах доменов данной системы, хотя границы ее распространения зачастую имеют субмеридиональное простирание.

Следует отметить, что области распространения гнейсово-карбонатной гранулитовой формации $\left(F_3^2 gsr\right)$ линейно вытянуты вдоль данной системы и прослеживаются в его пределах далеко на северо-запад. В Центральном регионе простирание областей распространения этой формации близко к меридиональному.

6. *Система доменов с азимутами простираний 70 и 340°.* С данной системой разломов намечается связь метаморфизованной габбро-диабазовой формации $\left(0_1^1 \nu\beta\right)$.

7. *Система доменов с азимутами простираний 84 и 354°.* В Западном регионе развита группа формаций, относимая к Олекмо-Становому комплексу раннеархейского возраста. Области распространения биотит-гнейсововой амфиболитовой $\left(F_4^1 bgA\right)$, биотит-амфибол-гнейсовой амфиболитовой $\left(F_4^1 agA\right)$, амфибол-гнейсово-сланцевой амфиболитовой $\left(F_4^1 asA\right)$, гранат-гнейсовой амфиболитовой $\left(F_4^1 ggA\right)$ формаций имеют вытянутость по азимуту 84°. Важно отметить, что эти же формации наблюдаются в другой, отличной от Западного региона, тектонической зоне – Становой складчатой области.

Простирание областей распространения пород описываемой группы формаций, совпадающее с простиранием доменов систем, свидетельствует о тесной их генетической связи. Области распространения гранат-гнейсово-гранулитовой $\left(F_3^2 ggr\right)$ и сланцево-гнейсово-гранулитовой $\left(F_3^1 sgr\right)$ формаций расположены в блоке имеют ориентировку 354°.

Выводы

Сложность изучения взаимосвязи систем доменов и геологических формаций определяется тем, что в формировании последних принимают участие разломы различных направлений. Это особенно характерно для мигматит-гранитовой формации $\left(0_1^3 \gamma m\right)$ Субганского комплекса, которая распространена на всей территории Алдано-Становой области. Тем не менее можно отметить, что ряд закономерностей носит общий характер.

В то же время формирование геологических формаций на ранней стадии образования земной коры происходило, по-видимому, под влиянием уже отчасти сформированных и в последующем активизированных отдельных систем разломов. Поэтому сложные границы областей распространения геологических формаций определяются влиянием на их формирование системами доменов с разными азимутами простирания.

В результате выполнения работ построена карта систем докембрийских разломов Алданского щита на формационной основе в ГИС MapInfo в масштабе 1:500 000. Созданы базы данных по активным разломам и землетрясениям. В совокупности данный материал может быть использован в качестве основы при прогнозировании пространственной взаимосвязи мест землетрясений с геологическими объектами, имеющее важное значение в вопросах обеспечения сейсмической безопасности

региона исследований. Научное значение данного направления исследований связано с возможностью восстановления последовательности тектонического развития региона и тектонического районирования. Практическая значимость обусловлена возможностью детализации при решении задач металлогенической специализации разломов и изучения закономерностей взаимосвязи систем разломов и рудных месторождений при детализации систем разломов на отдельных участках в более крупных масштабах. Данные виды работ являются предметом дальнейших исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Дирекции программ развития ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет.

Список литературы

1. Геологическая карта Южной Якутии масштаба 1:500 000 / под ред. Л.М. Реутова. – Якутск, 1976.

2. Пейве А.В. Тектоника и магматизм // Изв. АН СССР, сер. геологическая. – 1961. – № 3. – С. 36–54.

3. Садовский М.А. Избранные труды. Геофизика и физика взрыва. – М.: Наука, 2004. – 440 с.

4. Структурно-формационная карта Южной Якутии масштаба 1:500 000 / под ред. Е.П. Максимова. – Якутск, 1982.

5. Трофименко С.В. Методика и технология выделения систем разломов Алданского щита / А.С. Статива, С.В. Трофименко // Горный информационно-аналитический бюллетень / Региональное приложение ЯКУТИЯ. – Вып. 3. – М.: Изд-во МГГУ, 2006. – С. 155–166.

6. Трофименко С.В. Построение систем разломов Алданского щита по геофизическим данным / А.С. Статива, С.В. Трофименко // Горный информационно-аналитический бюллетень / Региональное приложение ЯКУТИЯ. Вып. – 3. – М.: Изд-во МГГУ, 2006. – С. 193–196.

7. Трофименко С.В. Ортогональные системы разломов Алданского щита и их геологическая позиция / А.С. Статива, С.В. Трофименко // Горный информационно-аналитический бюллетень / Региональное приложение ЯКУТИЯ. Вып. 4. – М.: Изд-во МГГУ, 2006. – С. 179–187.

8. Трофименко С.В. Пространственное распределение индикаторов систем разломов Алданского щита / А.С. Статива, С.В. Трофименко, В.С. Имаев // Горный информационно-аналитический бюллетень / Региональное приложение ЯКУТИЯ. Вып. 4. – М.: Изд-во МГГУ, 2006. – С. 188–196.

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

10. Разломная тектоника и геодинамика в моделях очаговых зон сильных землетрясений Южной Якутии / В.С. Имаев, С.В. Трофименко, В.И. Имаева, Н.Н. Гриб, Б.М. Козьмин, В.М. Никитин, А.И. Мельников, А.С. Статива. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 274 с.

11. Тяпкин К.Ф., Гонтаренко В.Н. Системы разломов Украинского щита. – Киев: Наук. думка, 1990. – 184с.

References

1. Geologicheskaya karta Yuzhnoy Yakutii masshtaba 1:500 000 /Pod red. L.M. Reutova. Yakutsk, 1976.

2. Peyve A.V. Tektonika i magmatizm //Izv. AN SSSR, ser. geologicheskaya, 1961. no. 3. pp. 36–54.

3. Sadovskiy M.A. Izbrannye trudy. Geofizika i fizika vzhyva. M.: Nauka, 2004. 440 p.

4. Strukturno-formatsyonnaya karta Yuzhnoy Yakutii masshtaba 1:500 000 /Pod red. E.P. Maksimova. Yakutsk, 1982.

5. Trofimenko S.V. Metodika I tekhnologiya vydeleniya system razlomov Aldanskogo schita /Stativa A.S., Trofimenko S.V. // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten/ Regionalnoe prilozhenie YAKUTIYA. Vypusk 3. M.: Izd-vo MGGU, 2006. pp. 155–166.

6. Trofimenko S.V. Postroenie system razlomov Aldanskogo schita po geofizicheskim dannym / Stativa A.S., Trofimenko S.V. // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten/ Regionalnoe prilozhenie YAKUTIYA. Vypusk 3. M: Izd-vo MGGU, 2006. pp. 193–196.

7. Trofimenko S.V. Ortogonalnye sistemy razlomov Aldanskogo schita i ih geologicheskaya pozitsiya / Stativa A.S., Trofimenko S.V. // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten/ Regionalnoe prilozhenie YAKUTIYA. Vypusk 4. M.: Izd-vo MGGU, 2006. pp. 179–187.

8. Trofimenko S.V. Prostranstvennoe raspredelenie indikatorov system razlomov Aldanskogo schita / Stativa A.S., Trofimenko S.V., Imaev V.S. // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten/Regionalnoe prilozhenie YAKUTIYA. Vypusk 4. M.: Izd-vo MGGU, 2006. pp. 188–196.

9. Trofimenko S.V. Tektonicheskaya interpretatsiya statisticheskoy modeli raspredeleniy azimutov anomaliy gravimagnitnyh poley Aldanskogo schita. Tihookeanskaya geologiya. 2010. Tom 29. no. 3. pp. 64–77.

10. Trofimenko S.V. Razlomnaya tektonika i geodinamika v modelyah ochagovyh zon silnyh zemletryaseniy Yuzhnoy Yakutii / Imaev V.S., Trofimenko S.V., Imaeva V.I., Grib N.N., Kozmin B.M., Nikitin V.M., Melnikov A.I., Stativa A.S. Tomsk: Izd-vo TPU, 2007. 274 p.

11. Tyapkin K.F., Gontarenko V.N. Sistemy razlomov Ukrainskogo schita. Kiev: Nauk. dumka, 1990. 184 p.

Рецензенты:

Самохин А.В., д.т.н., профессор кафедры «Физика и прикладная математика, Муромский филиал Владимирского государственного университета, г. Муром;

Смелов А.П., д.г.-м.н., профессор, директор ФГБУН «Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук», г. Якутск.

Работа поступила в редакцию 08.10.2013.