

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 6, Number 304 (2015), 16 – 21

GEODYNAMIC ZONATION OF NORTH TIEN-SHAN REGION LITHOSPHERE

A. V. Vilyayev, D. M. Sultanova, E. M. Akbergenov

Institute of the Ionosphere, National Center for Space Research and Technology, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: vilayev@gmail.com

Key words: geodynamic zoning, cluster analysis, North Tien Shan, geodynamics.

Abstract. Recent active development of geodynamics results the necessity of designing different geodynamic maps and models, as well as the developing of new data processing and lithospheric processes forecasting methods.

This paper presents a method of geodynamic zoning of Tien Shan region using cluster analysis. Statistical model of cluster zoning in the region was obtained, and interpretation of the results from the position of geodynamics was held.

УДК 550.34.01

ГЕОДИНАМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ЛИТОСФЕРЫ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

А. В. Виляев, Д. М. Султанова, Е. М. Акбергенов

ДТОО «Институт ионосферы» АО «Национальный центр космических исследований и технологий»,
Алматы, Казахстан

Ключевые слова: геодинамическое районирование, кластерный анализ, Северный Тянь-Шань, геодинамика.

Аннотация. Активное развитие геодинамики за последнее время приводит к необходимости составления различных геодинамических карт и моделей, а также к разработке новых методов обработки информации и прогнозирования литосферных процессов.

В работе представлена методика геодинамического районирования Тянь-Шанского региона с использованием кластерного анализа. Получена статистическая модель кластерной зональности региона и проведена интерпретация полученных результатов с позиции геодинамики.

Введение. Активное развитие геодинамических исследований за последнее время приводит к необходимости разработки новых методов обработки информации и прогнозирования литосферных процессов. На территории Северного Тянь-Шаня возможны землетрясения с магнитудой 8.0 и более. Такие сейсмические события, произошедшие здесь около ста лет назад, относятся к самым сильным в континентальной части Евразии за всю историю сейсмологических наблюдений [4]. Вероятность повторения подобных катастроф весьма высока в связи с продолжительным накоплением избыточных напряжений в земной коре. Этот фактор обуславливает создание и развитие метода геодинамического районирования с применением кластерного анализа исходных данных. Для осуществления такого анализа используется совокупность имеющихся геологофизических данных.

Исходные данные. Исследования выполнены на территории Тянь-Шаньского региона в области ограниченной 42-46 градусами с.ш. и 75-80 градусами в.д. Исходные данные представлены в виде двумерной функции зависимости геофизических параметров от координат, а совокупность параметров – в виде вектора, построенного в пространстве использованных признаков, где каждая компонента соответствует определенному параметру. Таким образом, мерность вектора определяется количеством исходных параметров и может произвольно изменяться. Если для произвольной территории имеется набор карт (n), отражающих распределение a_n параметров, то мерность вектора равна n : $\vec{a} \equiv (a_1, a_2, \dots, a_n)$, а сам вектор является функцией двух переменных $\vec{a} = \vec{a}(x, y)$.

Для проведения математических преобразований параметры представлены в виде двумерной матрицы, каждое значение которой привязано к узлам двумерной сети шагом 0.01 градуса, соответственно значение исходного параметра $a = a(x, y)$; где x, y – географические координаты; $a_{ij} = a(x_i, y_i)$; где a_{ij} – значение в узле матрицы, имеющее координаты x_i, y_i .

Проведено предварительное нормирование данных и формализованное выделение наиболее информативных геолого-геофизических параметров и анализ их физической сущности. В работе использовались следующие параметрические данные:

- количество землетрясений на единицу площади (плотность) энергетического класса менее 8.5 за период наблюдений 1885-2015 гг. по данным каталога землетрясений Института Сейсмологии МОН РК;
- плотность землетрясений энергетического класса более 8.5 за тот же период наблюдений;
- выделившаяся сейсмическая энергия на единицу площади;
- амплитуды скоростей горизонтальных и вертикальных движений и их градиенты изменения по данным GPS-мониторинга на стационарных станциях ДТОО Институт Ионосфера;
- амплитуда и горизонтальный градиент полного вектора аномального магнитного поля;
- амплитуда и горизонтальный градиент внутристоровой составляющей поля силы тяжести;
- глубина залегания и горизонтальный градиент изменения глубины залегания поверхности Мохоровичича;
- амплитуда и горизонтальный градиент современных вертикальных движений земной коры по данным наземного геодезического нивелирования;
- градиент перепада высот поверхности по данным цифровой модели рельефа;
- амплитуда и горизонтальный градиент глубинного теплового потока.

Методика исследований. Главное назначение кластерного анализа – разбиение множества исследуемых объектов и признаков на однородные по определяемым параметрам группы, или кластеры. При этом выявляются устойчивые сочетания параметров, незаметных при визуальном анализе соответствующих карт. Кластер представляет из себя группу объектов (в нашем случае область литосферы), обладающую свойством плотности – компактного сосредоточения использованных данных для некоторой области. При этом считается, что плотность объектов, или

сходство свойств внутри кластера выше, чем вне его. Кластер может быть описан некоторым центром, дисперсией (эффективным радиусом) в пределах своих очертаний, имеющих форму гиперсферы, отделимостью от других кластеров [1].

В работе применена кластеризация по наиболее простому методу k-средних (k-means-clustering), реализованному в программной среде STATISTICA. Начальная совокупность точек в многомерном пространстве разделена на группы схожих между собой объектов по 14 используемым для классификации параметрам. Далее вычислялась матрица расстояний между каждой парой объектов и подбирался алгоритм разделения на N-ое число кластеров [2]. Нахождение N выполнено путем тестирования классификации от N=5 до N=8.

Получена модель статистической кластерной картины Северо-Тянь-Шаньского региона, состоящая из 7 устойчивых сочетаний использованных параметров. На рисунке 1 представлены кластерные профили центральных значений параметров в безразмерных стандартизованных координатах. В кластерных сочетаниях участвуют значения каждого из отобранных параметров, отражающие практически весь главный диапазон значений.

Дисперсионный анализ показал, что чем меньше значение внутригрупповой дисперсии и больше значение межгрупповой дисперсии, тем лучше признак характеризует принадлежность объектов к кластеру и тем «качественнее» кластеризация. Методом эксперимента было выбрано 5 значимых параметров из 14. Результат представлен на рисунке 1.

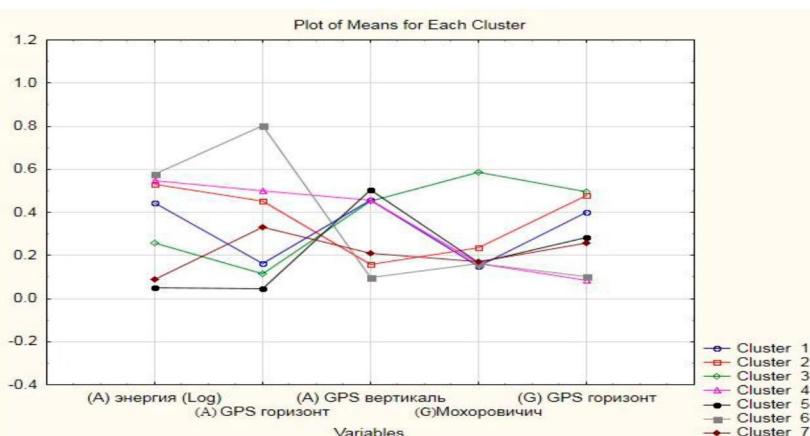


Рисунок 1 – Кластерные профили центральных значений для 5-ти параметров

Полученное распределение сочетаний параметров, выбранных для геодинамического анализа отображено в виде карты. Каждой ячейке модельной сетки присваивается соответствующий номер кластера и эта ячейка закрашивается уникальным для данного номера цветом (рисунок 2).

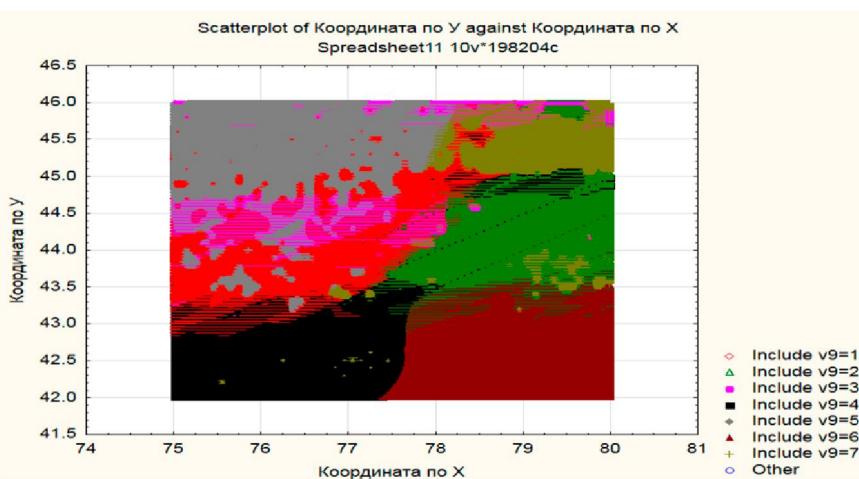


Рисунок 2 – Группы кластеров по главным структурным зонам

Обсуждение. Критерием достижения результата является наличие физического обоснования и геологической сущности для различных признаков каждого кластера. Статистической обработкой выделены пять наиболее информативных параметров из многомерной выборки для геодинамической кластеризации территории. Это - суммарная выделившаяся энергия землетрясений, амплитуды современных движений поверхности по данным GPS-мониторинга, градиент изменения горизонтального вектора современных движений и градиент изменения рельефа поверхности Мохоровичча. Главные классификационные признаки каждой группы сведены в таблице. Значения даны для стандартизованной формы каждого параметра, состоящей в приведении их к виду с одинаковой размерностью с нулевым средним и единичным разбросом. Нормирование не производилось, что позволяет сравнивать значимость признака по кластерам.

Комбинация главных параметров для устойчивой кластеризации

Variable	CLUSTERS						
	1	2	3	4	5	6	7
(A) энергия (Log)	0.4440	0.5295	0.2585	0.5491	0.0500	0.5784	0.0871
(A) GPS горизонт	0.1642	0.4514	0.1154	0.5001	0.0473	0.8013	0.3297
(A) GPS вертикаль	0.4554	0.1595	0.4533	0.4544	0.5042	0.0994	0.2097
(G) Махоровичч	0.1484	0.2375	0.5879	0.1603	0.1682	0.1606	0.1727
(G) GPS горизонт	0.3986	0.4776	0.4934	0.0850	0.2835	0.1039	0.2582

В результате расчетов сформирована схема статистической кластерной зональности территории Северного Тянь-Шаня (рисунок 3). В соответствии со схемой выделена система блоков однородных в признаковом пространстве внутри и различающихся между собой извне. Границами блоков служат разломы различной глубинности.

По характеру геодинамической изменчивости формируются группы блоков:

- устойчивого режима - Балхашский (V), Саркандский (VII);
 - динамичного режима – Алматинский (I), Джунгарский (II);
 - повышенной энергетической насыщенности – Северо Тянь-Шаньский (IV), Юго-Восточный (VI);
 - переходного режима – Каройский (III).

Группа блоков устойчивого режима (V, VII) характеризуется низкими значениями скоростных и энергетических параметров (таблица). Относительно устойчивый Балхашский блок занимает центральную часть Южно-Прибалхашской впадины. Земная кора имеет субгоризонтальную слоистость. Фундамент полого погружается по направлению к горным сооружениям. Мощность земной коры составляет 40–42 км [4]. Пространственно совпадает со стабильной частью Казахского щита Евразийской платформы. Саркандский блок расположен в юго-восточной части озера

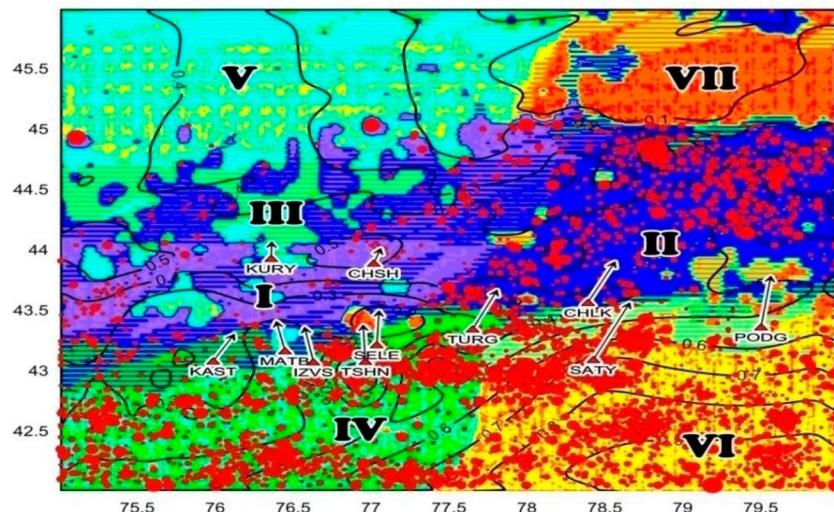


Рисунок 3 – Схема геодинамической классификации территории Северного Тянь-Шаня методом кластерного анализа с эпицентрами землетрясений

Балхаш, ограничен Таукумским разломом на севере и Алатайским на юге. Поверхность фундамента ступенчато поднимается на северо-восток. В пределах обоих блоков эпицентры землетрясений практически отсутствуют. Скорости горизонтальных движений поверхности, вычисленные по данным GPS- мониторинга, не превышают 2 мм/год.

Группа блоков динамичного режима (I, II) расположена в центральной части изучаемой площади, имеет субширотное простирание. Характерной деталью данной группы кластеров является высокая скорость горизонтальных и вертикальных движений поверхности по амплитуде и градиенту, а также однородность в проявлении сейсмических событий. На территории блоков расположены Алматинская и Илийская межгорные впадины. Фундамент блоков полого погружается с запада на восток.

Геодинамический смысл группы блоков повышенной энергетической насыщенности (IV, VI) заключается в наибольшей плотности выделившейся сейсмической энергии в этой области в сочетании с максимальными скоростями горизонтальных движений поверхности от 3,0 до 6,5 мм/год по данным GPS-наблюдений. В группе сосредоточено до 70% эпицентров всех землетрясений зарегистрированных в регионе. Группа включает горные хребты Заилийский Алатау, Кунгей и Терской Алатау с максимальными отметками высот до 7010м над уровнем моря (пик Хан Тенгри).

Каройский блок (III), расположенный в центральной части и ограниченный на юго-востоке Алтын Эмельским разломом отнесен нами к области переходного геодинамического режима. Мощность коры – не более 40-45 км. Блок является южным продолжением Балхашского срединного массива [4], относящегося к стабильной части Казахского щита. Характерной особенностью блока является высокий градиент изменения глубины залегания поверхности Мохоровичча в сочетании с относительно высокими скоростями вертикальных смещений поверхности до 2 мм/год. Данное обстоятельство не позволяет отнести GPSстанцию «Курты» к опорным, как это считалось ранее в геодинамических построениях.

Заключение. Выполненное районирование территории Северного Тянь-Шаня методом кластерного анализа позволило выделить четыре группы блоков характеризующих структуру литосферы. Полученные группы обладают статистически и геологически обоснованными геодинамическими особенностями. Исследования нацелены на обеспечение репрезентативного геодинамического контроля районов юга и юго-востока Казахстана, где возможно формирование очагов сильных землетрясений, представляющих угрозу населению и экономики региона.

Работа выполнена по РБП-076 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности, транспорта и коммуникаций» в рамках целевой программы «Развитие космических технологий мониторинга процессов на земной поверхности и в литосфере, создание элементной базы и аппаратуры для его проведения, разработка приборов, аппаратно-программных средств и подсистем космической техники» (Шифр О.0673), подпрограмма 1. «Развитие технологий наземно-космического геодинамического мониторинга территории Казахстана» по теме «Разработать методологию исследования геомеханического состояния земной коры кризисных территорий с использованием спутниковых технологий и математического моделирования», Регистрационный номер (РН) 0115РК01281.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Халафян А.А. STATISTICA 6: Статистический анализ данных. – М.: Изд-во Бином, 2007. – 145 с.
- [2] Соколов С.Ю., Соколов Н.С., Дмитриев Л.В. Геодинамическое районирование литосферы центральной Атлантики по данным кластерного анализа геолого-геофизических параметров и данным о локализации главных петрологических типов базальтов // Russian-RIDGE Abstractvolume. VII Okeangeologia. – St. Petersburg, 2005. – С. 25-26.
- [3] Тимуш А.В. Сейсмотектоника литосферы Казахстана. – Алматы, 2011. – 590 с.

REFERENCES

- [1] Khalafyan A.A., STATISTICA 6: Statistical analysis of the data. - M .: Publishing House of the Bean, 2007. - 145 p . (in Russ.).
- [2] Sokolov S.Yu., Sokolov N.S., Dmitriev L.V. Geodynamic zoning of the lithosphere of the central Atlantic according to the cluster analysis of geological and geophysical parameters, and the data on the localization of the main petrologic types of basalts // Russian-RIDGE Abstractvolume. VII Okeangeologia. St. Petersburg, 2005.p. 25-26. (in Russ.).
- [3] Timush A.V. Seismotectonics lithosphere of Kazakhstan - Almaty, 2011. 590p. (in Russ.).

**СОЛТУСТИК ТЯНЬ-ШАНЬ АЙМАҒЫНЫҢ
ЛИТОСФЕРАСЫН ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ АУДАНДАСТЫРУ**

А. В. Виляев, Д. М. Сұлтанова, Е. М. Акбергенов

ЕЖС «Ионосфера институты» АҚ «Фарыштық зерттеулер мен технологиялар үлттық орталығы»,
Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: геодинамикалық аудандастыру, кластерлікталдау, солтүстік Тянь-Шань, геодинамика.

Аннотация. Геодинамиканың белсенді дамуы соңғы кездерде әртүрлі геодинамикалық карта және модельдер жасауының қажеттігін туғыздырады, сондай-ақ ақпараттарды өндіре мен литосфералық процесстер болжаудың жаңа әдістерін құрастыру. Геофизикалықортаныңдербес параметрлерінің талдау беруінен шыққан нәтижелердің жеткіліксіздігі, практикалық деректер жинағының қолдану қажеттілігін ынталандырады.

Мақалда әдістеме кластерлік анализ арқылы Тянь-Шань аймағының геодинамикалық аудандастыру әдістемесі ұсынылады. Аймақтың кластерлі белдемділік статистикалық моделі алынды және геодинамика позициясынан алған нәтижелерге талдау беру.

Поступила 03.11.2015 г.