



UDC: 550.83

ТИПИЗАЦИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО КОМПЛЕКСУ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ В УЗБЕКИСТАНЕ

Тухтасинов Ахмаджон Хасанжон угли,
базовый докторант кафедры
“Геофизические методы исследования”,
e-mail: axmad326@mail.ru;

Хусанбаев Даврон Джураевич,
доцент кафедры
“Геофизические методы исследований”,
e-mail: shark_24@mail.ru;

Атабаев Дилшот Хусаинбаевич,
кандидат геолого-минералогических наук,
доцент, заведующий кафедрой
“Геофизические методы исследований”,
e-mail: atabaev_d@mail.ru

Национальный университет Узбекистана

***Аннотация.** Целевым назначением статьи является создание тектонической основы в виде типизации земной коры Узбекистана по комплексу геолого-геофизических данных, характеризующих ее современное строение и состояние. Типизация земной коры на однородные участки открывает широкие возможности в изучении эндогенных процессов и геодинамики. Она необходима для установления связей между типами коры и определения их места в общей системе. Если выделенные типы коры будут подобраны так, чтобы отражать разные эндогенные режимы, то такая картина позволит судить не только о современном строении коры, но и о закономерностях ее развития. Методика типизации основана на кластерном анализе (решение классификационной задачи), который позволяет комплексно, всесторонне и одновременно анализировать большой массив разнородной информации. Статья посвящена проблемам отбора комплекса исходной геолого-геофизической информации для проведения типизации земной коры. Проводится статистический и корреляционный анализ исходной информации, решение классификационной задачи на базе кластерного анализа. Обсуждаются результаты типизации.*

***Ключевые слова:** типизация, статистика, кластерный анализ, земная кора, аномалия, классификация, частотные гистограммы, тепловой поток, мантия, изостазия, корреляция.*



ГЕОЛОГИК-ГЕОФИЗИК МАЪЛУМОТЛАР МАЖМУАСИ АСОСИДА ЎЗБЕКИСТОН ЕР ҚОБИҒИНИ ТУРЛАРГА АЖРАТИШ

Тўхтасинов Ахмаджон Хасанжон ўғли,
Геофизикавий тадқиқот усуллари кафедраси
таянч докторанти;

Хусанбаев Даврон Джуроевич,
Геофизикавий тадқиқот усуллари кафедраси доценти;

Атабаев Дилшот Хусайнбаевич,
Геофизикавий тадқиқот усуллари кафедраси мудир

Ўзбекистон Миллий университети

***Аннотация.** Мақоланинг мақсади Ер қобигининг замонавий тузилиши ва ҳолатини тавсифловчи геологик-геофизик маълумотлар асосида Ўзбекистон ер қобигини турларга ажратиши ва унинг тектоник асосини яратишидир. Бу эса Ер қобигининг турли хил эндоген жараёнлари ва геодинамикасини кенг кўламда ўрганишига имкон беради. Агар Ер қобигининг белгиланган тури турли хилдаги эндоген режимни кўрсатиб бериши бўйича танлаб олинса, бундай кўринишида нафақат Ер қобигининг замонавий тузилиши, балки унинг ривожланиши қонуниятлари ҳам намоён бўлади. Ер қобигини турларга ажратиши услубияти кластер таҳлиliga асосланган бўлиб, бу катта миқдордаги маълумотлар мажмуасини бир вақтнинг ўзида ҳамда ҳар томонлама таҳлил қилиши имконини беради. Мақола Ер қобигини турларга ажратишида дастлабки геологик-геофизик маълумотлар мажмуасини танлаб олишига бағишланган. Дастлабки маълумотларнинг корреляцион ва статистик таҳлили ўтказилган, кластер таҳлил асосида таснифлаш масаласи ечилган. Турларга ажратиши натижаси муҳокама қилинган.*

***Калим сўзлар:** турларга ажратиши, статистика, кластер таҳлил, ер қобиғи, аномалия, классификация, частотали гистограммалар, иссиқлик оқими, мантия, изостазия, корреляция.*

CLASSIFICATION OF THE EARTH CRUST OF UZBEKISTAN ACCORDING TO GEOLOGICAL - GEOPHYSICAL DATA

Tukhtasinov Akhmadjon Khasanjon ugli,
Primary doctoral student of the Department of
Geophysical Research Methods;

Khusanbayev Davron Djorayevich,
Associate Professor of the Department of
Geophysical Research Methods;

Atabayev Dilshot Khusainbayevich,
Associate Professor of the Department of
Geophysical Research Methods

National University of Uzbekistan



Abstract. *The purpose of the article is to create a tectonic basis in the form of a classification of the earth crust in Uzbekistan based on a complex of geological and geophysical data characterizing its contemporary structure and condition. The classification of the earth crust into homogeneous areas opens up broad opportunities in the study of endogenous processes and geodynamics. It is essential to establish connections between the types of layers and determine their place in the general system. If the determined types of the crust are selected as to reflect different endogenous conditions, this will enable us to judge of the current structure of the crust as well as of the patterns of its development. The classification technique is based on a cluster analysis (solving a classification problem), which allows comprehensive and simultaneous processing of a huge amount of information. The article is devoted to the selection of a complex of initial geological – geophysical information for classification of the earth crust. Statistical and correlation investigations of the initial data are underway, typification issues will be addressed based on the cluster analysis. The typification outcomes are under discussion.*

Keywords: *typification, statistics, cluster analysis, earth crust, anomaly, classification, frequency histograms, heat molasses, initial data, surface, depression, mantle, isostasy.*

Введение

В соответствии с основными закономерностями развития земной коры эндогенные процессы проявляются в определенных обоснованных сочетаниях между собой. При этом, как правило, повышение или понижение интенсивности этих разных процессов идет параллельно. Тем самым демонстрируется внутреннее единство различных эндогенных процессов. Конкретные эндогенные режимы определяются соотношением астеносферы и литосферы. Главную роль в формировании того или иного эндогенного режима играют тепловой поток и проницаемость земной коры.

Более частной задачей, связанной с эндогенными режимами, является изучение их современных аналогов, приведших к альпийскому тектогенезу. Она требует другого методического подхода и основывается на типизации комплексных данных о современном строении и состоянии земной коры. Проблема отбора исходных данных является чрезвычайно важной при их комплексном анализе. Исходные данные должны быть единообразно и равномерно представлены в пределах изучаемой территории. Главным же образом, отбор исходных данных определяется поставленной целью.

Материалы и методы

Исходя из вышеизложенного, в методике типизации земной коры по комплексу гео-

лого-геофизических данных предлагается следующий набор исходной информации: 1) плотность теплового потока; 2) мощность земной коры; 3) высоты современного рельефа; 4) изостатические аномалии силы тяжести; 5) глубина залегания консолидированного фундамента; 6) магнитные аномалии, ΔT ; 7) плотность разрывных нарушений; 8) амплитуды новейших тектонических движений земной коры.

Методика типизации основана на кластерном анализе (решении классификационной задачи), который позволяет комплексно всесторонне и одновременно анализировать большой массив разнородной информации (Б. Дюран, П. Оделл, 1977; Г.И. Рейснер и др., 1986, 1990) [1]. В этом анализе критерием для объединения может служить мера близости по всей совокупности признаков в многомерном пространстве. За меру близости можно взять Евклидово или Декартово расстояние, логарифмический или расовый критерий Пирсона или какую-нибудь другую меру. Естественно ожидать, что малое значение этого расстояния указывает на то, что объекты подобны или близки друг другу, в то же время большое значение указывает на отсутствие подобия. Решением задачи кластерного анализа является разбиение объекта одного ранга, характеризующегося комплексом исходных данных, на объекты более высокого ранга, каждый из которых



может быть описан присущим только ему набором значений тех же исходных данных. Для выявления современных эндогенных режимов выбирается такая итерация кластерного анализа, когда мера близости большая и пространственное распределение кластеров аналогично современному рельефу.

По существу, типы земной коры с геолого-геофизическими параметрами, описывающими ее современное состояние, при исследованиях сейсмичности показывают способность земной коры генерировать сеймотектонический потенциал. При изучении карты типизации эталонными месторождениями углеводородов можно прогнозировать нефтегазогенерационный потенциал земной коры. При изучении эталонными рудными месторождениями можно прогнозировать рудогенерационный потенциал коры.

Результаты исследования

Рассмотрение основных закономерностей развития земной коры показывает, что эндогенные процессы – тектонические, магматические, метаморфические – проявляются в определенных закономерных сочетаниях между собой (В.В. Белоусов, 1978; А.А. Маракушев, 2008) [2]. Таким образом демонстрируется внутреннее единство различных эндогенных процессов, что позволяет говорить о наличии в жизни земной коры определенных эндогенных режимов, каждый из которых характеризуется определенными формой, масштабом и последовательностью тектонических движений, магматических и метаморфических процессов и существует в той или иной области на протяжении того или иного периода геологического времени.

Основным источником эндогенной активности Земли является процесс дифференциации его вещества. Он начинается в нижней мантии, откуда тяжелая и легкая фракции соответственно опускаются в ядро и поднимаются в верхнюю мантию (А.А. Маракушев, 1999; О.Г. Сорохтин и др., 2002) [3]. Но планета Земля представляет собой своеобразную тепловую машину с клапанами. Закрытый клапан – это низкая теплопроводность вещества Земного шара, позволяющая накапливаться теплу в недрах

раньше, чем оно может выделиться. Открытый клапан – это клапан пониженной вязкости, по которым из нижней мантии в астеносферу периодически поднимается сильно нагретое вещество, вызывая в астеносфере импульсы возбуждения.

Астеносфера является уровнем, на котором генерируется вещество, поднимающееся из нижней мантии. При очередной порции горячего глубинного вещества температура астеносферы повышается. Это и является механизмом «возбуждения» астеносферы, в результате которого усиливается плавление в ней, понижаются ее вязкость и плотность, изменяются не только геофизические, но и геохимические показатели (А.А. Маракушев и др., 2008; В.С. Зубков, 2000) [3; 4]. Следовательно, конкретные эндогенные режимы определяются соотношением астеносферы и литосферы. Главную роль в формировании того или иного эндогенного режима играют тепловой поток и проницаемость земной коры.

Тепло в верхнюю мантию и кору приходит снизу, из более глубоких оболочек Земли. Оно поступает в основном путем теплопереноса, конвективно, с расплавами и флюидами. Этот процесс всплывания горячего, относительно легкого материала из глубоких недр Земли к поверхности отражает явление общей дифференциации, идущей в глубинах нашей планеты и продолжающейся до настоящего времени неравномерно во времени и пространстве (В.В. Белоусов, 1989) [5].

В настоящее время различными методами достоверно установлена связь теплового потока с активными тектоническими движениями. Оказалось, что повышенные тепловые потоки характеризуют зоны молодой складчатости, современного рифтообразования, зоны активных глубинных разломов.

В зависимости от проницаемости земной коры тепловой поток по-разному ее прогревает. Наиболее эффективное прогревание коры происходит в обстановке большой и обязательно рассеянной проницаемости коры, когда горячий материал верхней мантии пронизывает кору густой сеткой (В.В. Белоусов, 1978) [2]. При этом кора наг-



реваются, а верхняя мантия охлаждается, отдавая все свое тело земной коре.

Другой способ передачи тепла из верхней мантии наблюдается в рифтовых и орогенных областях. В этом случае вещество верхней мантии с глубинным теплом перемещается по глубинным разломам, и большая часть тепла выносится на поверхность. Кора при этом нагревается слабее.

Проницаемость является еще одной из важнейших характеристик земной коры. Она определяется отношением мощности земной коры к консолидированной ее части. Мощность земной коры в силу своей неоднородности приводит к неоднородному распределению теплового потока, который поступает из глубины. Вместе с тем, тепловой поток влияет на изменения мощности земной коры. Н.И. Павленкова (1987) [6] отмечает, что «во многих регионах наблюдается четкая обратная связь между тепловым потоком и мощностью земной коры: чем выше тепловой поток, тем тоньше земная кора. Чем выше температура на границе «М», тем мельче она залегает. А это означает, по-видимому, что глубинное тепло является основной причиной деструкции земной коры и перемещения по глубине ее подошвы». К такому же мнению пришли Г.И. Рейснер, М.Г. Рейснер (1987) [7].

Вышеуказанные процессы, скорее всего, обусловлены частичным выплавлением земной коры. Это не просто выплавление подошвы земной коры, а более сложные процессы, приводящие к существенному изменению физических свойств корового вещества. Неравномерное нагревание коры приводит к нарушению гравитационного равновесия. Струи горячих флюидов, внедряясь с большим количеством тепла в породы земной коры, делают их пластичными и разрыхляют их. В результате возникает плотностная неоднородность, вызывающая нарушение изостатического равновесия.

Как видим, тепловой поток, структура земной коры и неоднородности в земной коре образуют единую систему внутреннего взаимодействия. «Главным законом развития этой системы является изостатическая

уравновешенность каждого из ее звеньев. Осадочные бассейны уравновешены подъемом границы «М» или уплотнением консолидированной коры, участки с тонкой земной корой подстилаются мантией с меньшей плотностью» (Н.И. Павленкова, 1987) [6]. Очевидно, что основными факторами этой системы являются тепловой поток, проницаемость земной коры и изостатическая уравновешенность.

Подбор и характеристика исходных данных

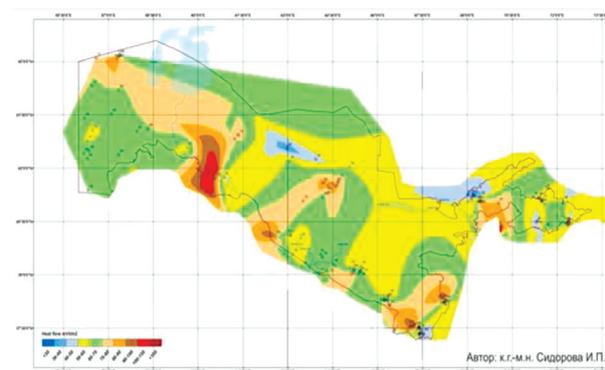


Рис. 1. Карта теплового потока Узбекистана

Карта теплового потока Узбекистана в масштабе 1 : 1000000 (Ю.Н. Зуев и др., 1984; А.А. Поликарпов, 2002; И.П. Сидорова, 2010) [8] показана на рисунке 1. Она имеет резко контрастную картину. Распределение значений теплового потока в Кураминском хребте достигает 150 мВт/м^2 , а в зоне сочленения гор Каратау с Приташкентской впадиной составляют всего 30 мВт/м^2 . Максимальные значения теплового потока наблюдаются также в ЮЗ отрогах Гиссарского хребта – 100 мВт/м^2 , в Амударьинской впадине (Дарьялык-Дауданском прогибе и Хивинской седловине) – до 110 мВт/м^2 , в Денгизкульсом вале – до 110 мВт/м^2 , на севере плато Устюрт – 90 мВт/м^2 .

В целом для территории Узбекистана характерны значения теплового потока $65-70 \text{ мВт/м}^2$, что говорит о большом энергетическом потенциале земной коры. Минимальные значения теплового потока соответствуют впадине Кокаяз в Центральных Кызылкумах [4].

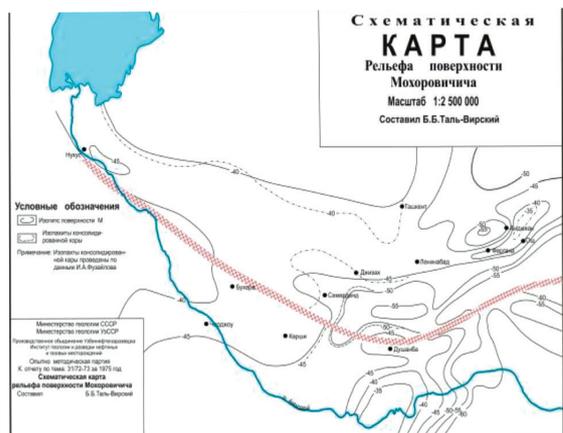


Рис. 2. Карта рельефа поверхности Мохоровичича 1 : 2 500 000
Авторы Б.Б. Таль-Вирский и др.



Рис. 3. Карта рельефа поверхности Мохоровичича 1:1 000 000. Д.Х. Атабаев, Д.Д. Хусанбаев, С.С. Раджабов

Анализ карты изоглубин поверхности Мохо в целом хорошо согласуется с тектоническим планом всей исследуемой территории (рис. 2). Для части территории Узбекистана, где отсутствует информация об этой поверхности, изоглубины поверхности Мохо были рассчитаны по методике, предложенной Р.М. Деменицкой (рис. 3) (Д.Д. Хусанбаев и др., 2015) [9]. Глубина залегания в плато Устюрт – от 38,5 до 40 км, в Центрально-Кызылкумской зоне поднятий (Букантау, Кульджуктау, район гор Каратаг и Ингичка) – от 35 до 38 км, Тамдытау – 42 км. Амударьинская и Сырдарьинская впадины в пределах территории Узбекистана имеют глубину залегания исследуемой поверхности от 38 до 41 км. Сурхандарьинская впадина имеет глубину залегания от 42 до 45,5 км. Приташкентско-Голодностепский прогиб имеют глубину залегания от 41 до 43 км. Ферганская впадина с глубиной залегания – от 44 до 50 км, под орогеническими сооружениями мегантиклиналей Южного и Среднего Тянь-Шаня глубина залегания – от 45 до 55 и более км.

Абсолютные отметки рельефа снимались с топографической карты масштаба 1 : 500 000. При этом учитывался эрозионный врез, за счет вычета которого топокарта была сглажена. Абсолютные отметки в Туранской плите от 0,02 до 0,3 км, в горной части на Гиссарском хребте – 4,0-4,6 км, на Угамском, Пскемском хребте – 3,5-4,2 км.

Изостатическое поле исследуемой территории достаточно хорошо изучено (М.Е. Артемьев, 1975; И.А. Фузайлов, 1977; Б.Б. Таль-Вирский, 1982) [10; 11; 12]. Туранская плита является более компенсированной, и значения изостатических аномалий изменяются от –10 до +16 усл. ед. Восточный Узбекистан представляет собой особый район, в котором изостатические аномалии изменяются от положительных +28 усл. ед. в Чаткало-Кураминской системе, до сильно отрицательных – 68 усл. ед. в Ферганской впадине. Согласно обычной трактовке изостатических аномалий, в районах с отрицательными аномалиями кора является «слишком толстой», и для уменьшения мощности она должна воздыматься, всплывать, уступая в нижней части место плотной мантии. При положительных аномалиях земная кора «слишком тонка» и, следовательно, должна погружаться. Однако в Ферганской впадине при отрицательной аномалии наблюдается значительное погружение, а в Южном Тянь-Шане, несмотря на положительные изостатические аномалии, продолжается рост гор. Такое парадоксальное явление до сего времени не нашло должного объяснения.

Значения глубины залегания консолидированного фундамента приняты из работ (И.А. Фузайлов, 1977) [11]. Глубина залегания консолидированного фундамента имеет максимальные значения в Ферганской межгорной впадине (9-10 км), в Сурханда-

рьинской депрессии (10-11 км). На Туранской плите глубина залегания фундамента изменяется в широких пределах. Так, в Бухарской ступени фундамент залегает на глубине 4-4,5 км, в Кызылкумском кряже и Приаральской впадине – до 1-1,2 км. В горных хребтах консолидированная кора выходит на дневную поверхность.

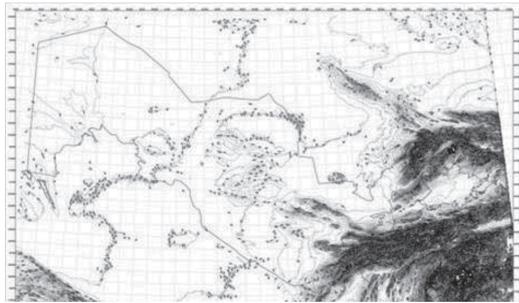


Рис. 4. Карта рельефа

Геоманнитное поле на территории Узбекистана неоднородно. По знаку интенсивности, форме, размерам, простираению и взаимному расположению аномалий выделяются ряд крупных зон, отвечающих, как правило, крупным тектоническим элементам. Кураминская область мозаичного поля имеет изометричную форму с интенсивностью аномалий от $-4 \cdot 10^2$ до $+8 \cdot 10^2$ нТл. Аномальное поле осложнено влиянием эффузивов среднего состава. Эта область соответствует ядру магматической активизации, в пределах срединного массива. В.И. Попов выделяет их в качестве ядер роста материков, считая, что эти структуры играют важную роль в формировании континентальной земной коры. Восточно-Кызылкумская полоса магнитных максимумов имеет северо-западное простираение и протягивается на 600 км. Эффективная намагниченность $(300-1000) \cdot 10^{-6}$ ед. СИ в юго-восточной части и $(300-3000) \cdot 10^{-6}$ ед. СИ в северо-западной части. Увеличение интенсивности намагниченности и изменение соотношений магнитных и гравитационных аномалий свидетельствуют о повышении основности магматических образований в северо-западном направлении. Глубинные разломы сопровождаются линейными магнитными аномалиями.

Проницаемость земной коры эндогенным теплом зависит в первую очередь от плотности разрывных нарушений в коре. Неравномерное нагревание коры в зонах глубинных разломов приводит к нарушению гравитационного равновесия. Струи горячих флюидов, внедряясь с большим количеством тепла в породы земной коры, делают их пластичными и разрыхляют их. В результате возникает плотностная неоднородность, вызывающая нарушение изостатического равновесия. Как видим, тепловой поток, структура земной коры и неоднородности в земной коре образуют единую систему внутреннего взаимодействия. «Главным законом развития этой системы является изостатическая уравновешенность каждого из ее звеньев. Осадочные бассейны уравновешаны подъемом границы “М” или уплотнением консолидированной коры, участки с тонкой земной корой подстилаются мантией с меньшей плотностью» (Павленкова, 1987) [6]. Уравновешивание системы происходит движением блоков земной коры вдоль разломов часто с выделением сейсмической энергии.

В изучаемой территории для расчета плотности разрывных нарушений привлекались активные региональные разломы масштаба 1 : 1 000 000 (<http://neotec.ginras.ru/>). Под плотностью разрывов нами понимается количество разрывных дислокаций в погонных километрах, приходящееся на 1 км² площади (км/км²). Анализ полученных результатов показывает, что земная кора в орогенической части более раздроблена (0,05-0,88 км/км²).

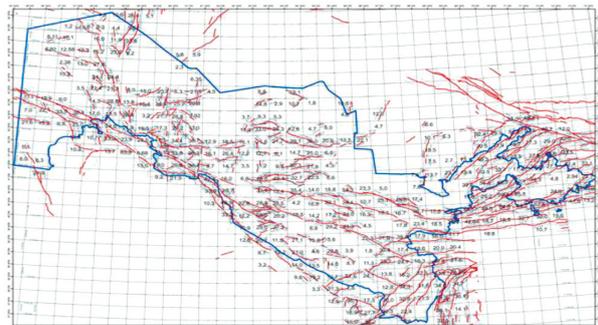


Рис. 5. Карта магнитных аномалий Узбекистана



В Чаткало-Кураминской зоне плотность разрывных нарушений составляет 0,244-0,88 км/км², в Туркестано-Алайской зоне – 0,190-0,288 км/км², в Зеравшано-Гиссарской мегаантиклинали в части территории Узбекистана – 0,178-0,194 км/км². Туранская плита тоже имеет мозаичное строение по раздробленности коры. Здесь можно отметить Газлинскую аномалию (0,256 км/км²), аномалию Центрально-Кызылкумских поднятий (0,163 км/км²). Земная кора Нурагинских гор также имеет большую раздробленность (0,194 км/км²).

Как отмечалось выше, одной из главных причин тектонических движений земной коры и образующихся в результате их проявления различных геоструктур являются плотностные неоднородности. Механизм образования этих структур подробно описан В.В. Белоусовым [5]. Процессы разуплотнения определяют тектонические движения перекрывающей литосферы. Эти движения фиксируются на поверхности скоростями деформации земной коры, т. е. в виде амплитуд неотектонических движений. Интенсивность новейших тектонических движений является еще одним

параметром, указывающим эндогенную активность территории. Приташкентская сейсмоактивная зона в центральной части одноименного прогиба характеризуется отрицательными амплитудами неотектонических движений от –1 000 до –1 500 м. В сторону Чаткало-Кураминской мегантиклинали амплитуда движений начинает увеличиваться и достигает от +1 500 до +2 000 м, а в осевой части мегантиклинория достигает максимума +4 000 – +4 500 м. В центральной части Ферганской впадины амплитуда достигает –7 000 м. На южном борту впадины с переходом в Туркестано-Алайский мегантиклиналь амплитуда движений увеличивается до +2 000 – +3 000 м. Общая контрастность неотектонических движений в Ферганской сейсмоактивной зоне составляет 9 000-10 000 м. Такая же ситуация и в Южно-Тянь-Шаньской сейсмоактивной зоне: если в Сурхандарьинской впадине амплитуда движений составляет –5000 м, то в мегантиклинали Гиссара – +6000 м.

В целом исходные данные изменяются в большом диапазоне значений. В таблице приведена корреляционная матрица использованных в анализе исходных данных.

Таблица

Корреляционная матрица использованных в анализе исходных данных

№	Q	R	H	I	F	T	L	N
Q	1.00	0.21	0.12	0.10	0.06	-0.04	0.23	0.09
R	0.21	1.00	0.81	-0.15	-0.15	-0.04	0.39	0.50
H	0.12	0.81	1.00	-0.43	0.10	-0.01	0.39	0.15
I	0.10	-0.15	-0.43	1.00	-0.42	0.04	-0.07	0.39
F	0.06	-0.15	0.10	-0.42	1.00	-0.24	-0.07	-0.47
T	-0.04	-0.04	-0.01	0.04	-0.24	1.00	-0.08	0.02
L	0.23	0.39	0.39	-0.07	-0.07	-0.08	1.00	0.14
N	0.09	0.50	0.15	0.39	-0.47	0.02	0.14	1.00

Определенный интерес представляют частотные гистограммы по признакам. На рисунке 7 представлена гистограмма встречаемости по параметру Q – тепловому потоку. Такие гистограммы построены также в трехмерном пространстве, так на рисунке 8

показано соотношение параметров Q и R – высоты современного рельефа. Частотные гистограммы наглядно показывают распределение и встречаемость определенных значений того или иного признака в пространстве.

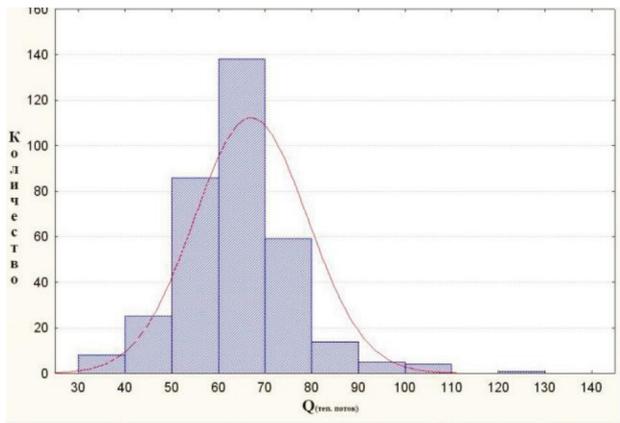


Рис. 7. Частотная гистограмма по признакам Q

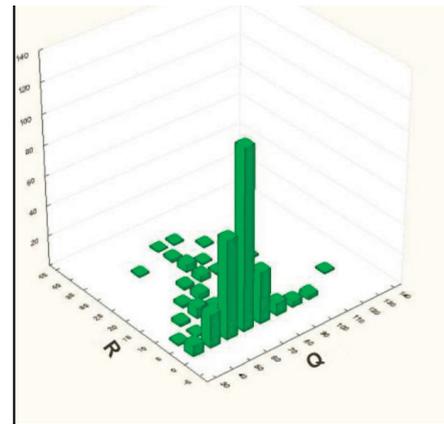


Рис. 8. Трехмерная гистограмма

При решении классификационных задач, когда приходится сталкиваться с большими массивами разнородной информации, со сложными комбинациями исходных данных, лучшим способом является ее комплексный всесторонний и одновременный анализ. Такой анализ возможен методом кластерного анализа (Дюран, Оделл, 1977) [1]. В этом анализе критерием для объединения может служить мера близости по всей совокупности признаков в многомерном пространстве. За меру близости можно взять евклидово или декартово расстояние, логарифмический или расовый критерий Пирсона или какую-нибудь другую меру. Решением задачи кластерного анализа является разбиение объекта одного ранга, характеризующегося комплексом исходных данных, на объекты более высокого ранга, каждый из которых может быть описан присутствием только ему набором значений тех же исходных данных.

В данной работе использован один из методов кластерного анализа – метод k-средних Мак-Куина. Принцип классификации сводится к некоторому, возможно, случайному исходному разбиению множества объектов на заданное число кластеров (классов, групп, популяций), последующему отнесению остальных объектов к ближайшим кластерам, пересчету новых «центров тяжести» кластеров и продолжению описанной процедуры, пока не будет получено некоторое оптимальное разбиение. Особенностью метода является то, что выделенные в резуль-

тате расчетов кластеры не будут пересекаться – гарантируется, что каждый классифицированный объект будет отнесен только к одному кластеру.

Для проведения кластерного анализа методом k-средних использовалась программа STATISTICA v. 6.0. Программа начинает с k случайно выбранных кластеров, а затем изменяет принадлежность объектов к ним, чтобы, во-первых, минимизировать изменчивость внутри кластеров и, во вторых, максимизировать изменчивость между кластерами.

В качестве меры близости использовалось евклидово расстояние:

$$L_{n,e} = \left\{ \sum_j (X_j^n - X_j^e)^2 \right\}^{1/2},$$

где X_j^n и X_j^e – исходные характеристики соответственно n и e.

Естественно ожидать, что малое значение этого расстояния указывает на то, что объекты подобны или «близки» друг другу, в то же время большое значение указывает на отсутствие подобия.

Технология метода заключается в следующих процедурах. Вся изучаемая территория делится на одинаковые по размеру ячейки (20' x 30'-градусной сетки). Это соответствует одному планшету топокарты масштаба 1 : 100 000. Выбор такого размера ячейки представляется оптимальным. Во-первых, потому что все исходные карты являются мелкомасштабными (1 : 1 000 000 и 1 : 500 000). И если мы выберем несколь-



ко больший размер ячейки, исходная информация значительно усреднится, тогда как его меньший размер не будет обеспечен исходной информацией взятого масштаба. Во-вторых, каждая ячейка будет представлять собой равновеликий по размеру объем земной коры с характерными только для нее данными. Для каждой ячейки снимается значение исходной информации с каждого из восьми выбранных признаков (карт). Полученная информация вводится в виде форматного файла на ЭВМ для дальнейшей обработки. Формат данных представляет собой целые числа.

При проведении кластерного анализа территория Республики Узбекистан поделена на 339 ячеек, каждая ячейка как уже отмечалась выше соответствует 20' x 30'-градусной сетки. С помощью кластерного анализа методом k-средних весь набор исходных данных был разбит на кластеры в пять шагов. На первом шаге кластерного анализа, когда мера близости мала, т. е. расстояние между признаками маленькое, вся территория Узбекистана разбита на 200 кластеров.

Для второго, третьего, четвертого и пятого шагов кластерного анализа получены соответственно 150, 120, 50 и 25 кластеров.

После проведения кластерного анализа основным моментом является выбор оптимального шага для интерпретации. Как указывалось, методика дает возможность решения данной задачи на нескольких шагах (Г.И. Рейснер, М.Г. Рейснер, 1987; Д.Д. Хусанбаев, 1991) [13; 14].

Для проведения общего тектонического районирования земной коры Узбекистана был использован пятый шаг решения классификационной задачи. Он позволил выявить общие закономерности пространственного распределения типов коры, которые соответствуют в целом количеству структурных элементов, выделяемых при обычном тектоническом районировании масштабах, соответствующих масштабу анализируемых исходных данных. Для территории Узбекистана на этом шаге было выделено 25 типов коры. На основании полученных результатов была построена формализованная карта для 25 кластеров (рис. 9).

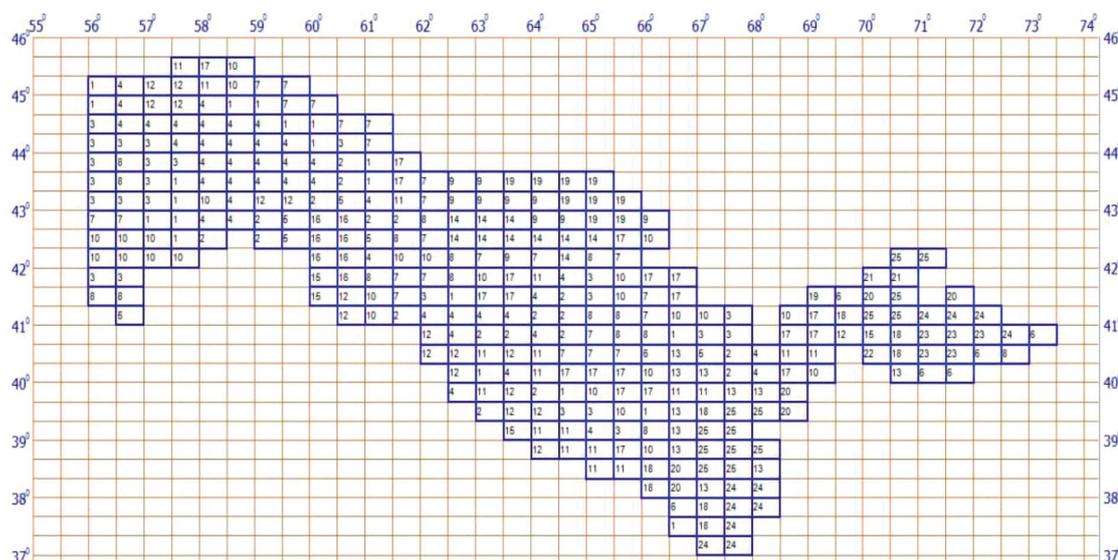


Рис. 9. Формализованная карта типов земной коры (25 типов)

Анализ результатов исследования

На рисунке 9 совершенно отчетливо наблюдаются две крупные структурные единицы, делящие изучаемую территорию на

Туранскую плиту и ороген Тянь-Шаня. Последний имеет субширотную вытянутость, тем самым хорошо коррелируясь с реальной обстановкой.



Рассмотрим каждую из этих структурных единиц отдельно. Туранскую плиту характеризуют 1, 4, 7, 3, 2, 5, 14, 9, 8, 10, 11, 17, 19, 24-й типы коры. Для этой территории в целом свойственны невысокий рельеф до 0,4 км, компенсированная кора – изостатические аномалии от –13 до +22 мГал, небольшая мощность земной коры от 35 до 41 км и широко изменяющиеся значения теплового потока от 43 до 93 мВт/м².

Ороген Тянь-Шаня представлен типами коры 6, 20, 24, 15, 18, 24, 25. Рельеф меняется в широком диапазоне от 0,5 до 4 км, изостатические аномалии в Ферганской межгорной впадине до –50 мГал, в Сурхандарьинской впадине до –22,5 мГал, для осевых частей мегантиклиналей до +20 мГал. Мощность земной коры от 42 до 50 км, значения теплового потока широко изменяются от 55 до 150 мВт/м².

Выводы

Результаты типизации земной коры в этом шаге (25 типов) при рассмотрении

хорошо коррелируются с имеющимися тектоническими картами территории. При рассмотрении карты типизации наиболее интересными представляются ассоциации типов коры, которые характеризуются сохранением одного тренда в поведении признаков, избранных для типизации. Их значения при пересечении границы между разными типами коры либо убывают, либо возрастают, но не меняют направленность. Это может означать следующее: при последовательном пересечении границ одного и того же вида, разделяющих разные типы коры, в той же последовательности сменяются районы разных стадий проявления одного и того же процесса эволюции земной коры, которые достигнуты к настоящему времени. Такое положение позволяет использовать результаты типизации для решения поставленной задачи по выявлению современных эндогенных режимов.

REFERENCES

1. Djuran B., Odell P. Klasternyj analiz [Cluster analysis]. Moscow, Statistics, 1977, 128 p.
2. Belousov V.V. Jendogennye rezhimy [Endogenous modes]. Moscow, Nedra, 1978, p. 232.
3. Marakushev A.A., Marakushev S.A. Vodorodnoe dyhanie Zemli – ego proishozhdenie, geologicheskie i biologicheskie sledstvija [Hydrogen respiration of the Earth – its origin, geological and biological consequences]. Al’ternativnaja jenergetika i jekologija – Alternative energy and ecology, 2008, no. 1 (57), pp. 156-174.
4. Zubkov V.S. K voprosu o vlijanii uglevodorodno-neorganicheskogo fljuida na glubinnuju geodinamiku i processy v litosfere. Geohimicheskie processy i poleznye iskopaemye [On the question of the influence of hydrocarbon-inorganic fluid on deep geodynamics and processes in the lithosphere. Geochemical processes and minerals]. Vestnik GeoIGU – GeoIGU Bulletin, 2000, vol. 2, pp. 10-28.
5. Belousov V.V. Osnovy geotektoniki [Fundamentals of Geotectonic]. Moscow, Nedra, 1989.
6. Pavlenkova N.I. Struktura zemnoj kory, verhnjej mantii i global’naja tektonika. Spornye aspekty tektoniki plit i vozmozhnye al’ternativy [The structure of the earth’s crust, upper mantle and global tectonics. Controversial aspects of plate tectonics and possible alternatives]. Moscow, IFZ, 2002, pp. 64-72.
7. Rejsner G.I., Rejsner M.G. Jendogennye rezhimy Evropy. V sb. Sovremennaja geodinamika i glubinnoe stroenie territorii SSSR [Endogenous regimes of Europe. On Sat. Modern geodynamics and deep structure of the territory of the USSR]. Moscow, Nauka, 1990, pp. 40-47.



8. Zuev Ju.N., Polikarpov A.A. Karta raspredelenija teplovogo potoka na territorii Srednej Azii. Masshtab 1 : 2500 000 [Heat flow distribution map in Central Asia. Scale 1: 2,500,000]. 2002.
9. Husanbaev D.D., Radzhabov S.S., Atabaev D.H., Krutikov A.D. Postroenie karty izoglubin poverhnosti Mohorovichicha Respubliki Uzbekistan po sejsmo-gravimetricheskim dannym [Construction of a map of the iso-depths of the Mokhorovichich surface of the Republic of Uzbekistan based on seismic-gravimetric data]. Vestnik NUUZ – Bulletin of NUUZ, 2015, no. 2.
10. Artem'ev M.E. Izostazija territorii SSSR [Isostasy of the territory of the USSR]. Moscow, Nauka, 1975, 215 p.
11. Fuzajlov I.A. Stroenie konsolidirovannoj kory Zapadnogo pogruzhenija Tjan'-Shanja [The structure of the consolidated crust of the Western Tien Shan plunge]. Tashkent, Fan, 1977, 143 p.
12. Tal'-Virskij B.B. Geofizicheskie polja i tektonika Srednej Azii [Geophysical fields and tectonics of Central Asia]. Moscow, 1982, 271 p.
13. Rejsner G.I., Rejsner M.G. O metode vyjavlenija sovremennyh jendogennyh rezhimov [On the method of identifying modern endogenous regimes. In the book The structure and evolution of the tectonosphere]. Moscow, IFZ of the USSR Academy of Sciences, 1987, pp. 274-301.
14. Husanbaev D.D. Sovremennye jendogennye rezhimy i sejsmotektonicheskie osobennosti ochagovyh zon sil'nyh zemletrjasenij (na primere Uzbekistana). Avtoref. kand. geologo-mineralogicheskix nauk [Modern endogenous regimes and seismotectonic features of focal zones of strong earthquakes (on the example of Uzbekistan). Abstract of the candidate of geological and mineralogical sciences]. Tashkent, 1991.
15. Rejsner G.I., Rejsner M.G. Sovremennye jendogennye rezhimy [Modern endogenous regimes]. Reports of the USSR Academy of Sciences, 1986, vol. 291, no. 6, pp. 1336-1339.
16. Gravimetricheskaja karta SSSR. Masshtab 1 : 500 000 [Gravimetric map of the USSR. Scale 1: 500,000]. Moscow, 1975.

Рецензент: А.Ш. Закиров, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории геофизики и наноминералогии Центра передовых технологий Министерства инновационного развития Республики Узбекистан.