= ГЕОТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА =

VДК 551 DOI: 10.46698/VNC.2021.20.28.003

Оригинальная статья

Гравитационные аномалии, разломная тектоника и сейсмичность Терско-Каспийского прогиба

И.А. Керимов

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Россия, 123995, г. Москва, Большая Грузинская ул., 10, e-mail: kerimov@ifz.ru

Статья поступила: 28.10.2021, доработана: 25.11.2021, одобрена в печать: 07.12.2021

Резюме: Актуальность работы. При изучении геологического строения глубокопогруженных нефтегазоперспективных горизонтов и изучении современной геодинамики Терско-Каспийского прогиба (ТКП) весьма актуальным является уточнение пространственного положения существующих и выделение новых разломных структур. Пространственное положение разломов устанавливается по комплексу геолого-геофизических критериев, причем геофизические признаки являются преобладающими. Цель. На основании карты аномалий силы тяжести масштаба 1:200 000 и карты магнитного поля масштабов 1:200 000 и 1:500 000 были созданы цифровые модели гравитационного и магнитного полей и составлена схема аномального гравитационного поля (Δg_a) западной части ТКП. Электронная база сейсмологической информации была составлена на основе сведений об исторических и инструментальных землетрясениях (1950–2020 гг.), а также макросейсмических данных. Методы работы. Трансформация исходного аномального гравитационного поля выполнена путем расчета вектора горизонтального градиента Wsz и третьей вертикальной производной Wzzz потенциала силы тяжести, с использованием компьютерной программы, реализующей метод F-аппроксимации, основанный на представлении потенциала аномального гравитационного и магнитного полей интегралом Фурье. Для анализа сейсмичности выполнен расчет сейсмической активности А₁₀ по формуле Ю.В. Ризниченко с использованием компьютерной программы, реализующей способ суммирования с постоянной детальностью, основанный на суммировании числа землетрясений всех энергетических классов больше минимального представительного в фиксированной зоне осреднения. Результаты работы и обсуждение. По результатам обработки и интерпретации геофизических данных построена серия тематических карт по территории ТКП: карты вектора горизонтального градиента Wsz и третьей вертикальной производной Wzzz потенциала силы тяжести; карта сейсмической активности A₁₀. На основе анализа полученных данных с привлечением существующей геологической информации уточнено положение известных разломов и выделены новые, по итогам исследований составлена карта разломов западной части ТКП.

Ключевые слова: Гравитационные аномалии, F-аппроксимация, интерпретация, разломы, тектоника, сейсмичность, Терско-Каспийский прогиб.

Для цитирования: Керимов И.А. Гравитационные аномалии, разломная тектоника и сейсмичность Терско-Каспийского прогиба. *Геология и геофизика Юга России*. 2020. 11(4): 30-42. DOI: 10.46698/ VNC.2021.20.28.003.

31

GEOTECTONICS AND GEODYNAMICS =

DOI: 10.46698/VNC.2021.20.28.003

Original paper

Gravity anomalies, fault tectonics and seismicity of the Terek-Caspian trough

I.A. Kerimov

Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, 10/1 B. Gruzinskaya Str., Moscow123995, Russian Federation, e-mail: kerimov@ifz.ru

Reseived: 28.10.2021, revised: 25.11.2021, accepted: 07.12.2021

Abstract: Relevance. When studying the geological structure of deeply submerged oil and gas promising horizons and studying the modern geodynamics of the Terek-Caspian trough (TCT), it is very important to clarify the spatial position of the existing fault structures and identify new ones. To determine the spatial position of the faults, a set of geological and geophysical criteria is established, with geophysical features prevailing. Aim. Based on the gravity anomaly map of scale 1: 200,000 and magnetic field maps of scales 1: 200,000 and 1: 500,000, digital models of gravitational and magnetic fields were created and a diagram of the anomalous gravitational field (Δg_a) of the western part of the TCT was drawn. The electronic database of seismological information was compiled on the basis of information about historical and instrumental earthquakes (1950-2020), as well as macroseismic data. Methods. The transformation of the initial anomalous gravitational field is performed by calculating the horizontal gradient vector Wsz and the third vertical derivative Wzzz of the gravity potential using a computer program that implements the F-approximation method based on the representation of the potential of the anomalous gravitational and magnetic fields by the Fourier integral. To analyze the seismicity, the seismic activity A_{10} was calculated according to the formula of Yu.V. Riznichenko using a computer program that implements the summation method with constant detail, based on the summation of the number of earthquakes of all energy classes greater than the minimum representative in a fixed averaging zone. Results and discussion. Based on the results of processing and interpretation of geophysical data, a set of thematic maps was built for the TCT territory. This set includes maps of the horizontal gradient vector Wsz and the third vertical derivative Wzzz of the gravity potential; seismic activity map A₁₀. Based on the analysis of the data obtained with the involvement of existing geological information, the position of the known faults was clarified and new ones were identified, based on the results of the research, a map of the faults for the western part of the TCT was compiled.

Keywords: gravity anomalies, F-approximation, interpretation, faults, tectonics, seismicity, Terek-Caspian trough.

For citation: Kerimov I.A. Gravity Anomalies, Fault Tectonics and Seismicity of the Terek-Caspian Trough. *Geologiya I Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11(4): 30-42. DOI: 10.46698/VNC.2021.20.28.003.

Введение

Исследование разломной тектоники Терско-Каспийского прогиба (ТКП) имеет достаточно длительный характер и освещено в многочисленных работах [Крисюк и др., 1988; Сидоров, Кузьмин, 1989; Стерленко, Вобликов, 1991; Летавин и др., 1975; Черкашин и др., 2012; Шемпелев, 1982; и др.]. По данным этих исследований в пределах региона выделяется серия дизьюнктивов типа глубинных разломов, имеющих наряду с преобладающим субширотным (кавказским) направлением и субмеридиональное (антикавказское) простирание. Эти разломы отличаются протяженностью, глубиной проникновения в литосферу, временем пробуждения тектонической активности, проявлением в осадочном чехле, выраженностью в геофизических полях и пр. Как известно, с зонами распространения глубинных разломов связаны такие важнейшие геологические явления, как процессы складчатости, магматизм, седиментогенез, рельефообразование и т.д. Существенное влияние разломы, причем, это признается как сторонниками биогенного, так и приверженцами абиогенного происхождения углеводородов, оказывают на процессы миграции и аккумуляции нефти и газа. Следует иметь в виду, что глубинные разломы оказали решающее влияние не только на геоструктурные особенности палеозойского фундамента, но и на тектонический план платформенного чехла Предкавказья. Необходимо отметить также, что зоны глубинных разломов вследствие многократных подвижек отдельных блоков могут быть осложнены многочисленными поднятиями при– и надразломного характера, системой трещин, делающими толщи горных пород, благоприятными для миграции и аккумуляции углеводородов. Таким образом, для изучения геологического строения глубокопогруженных нефтегазоперспективных горизонтов исследуемого региона весьма важно выявление и трассирование зон разломов фундамента.

Глубинные разломы играют определяющую роль в современной геодинамике региона, влияют на пространственно-временные закономерности размещения гипоцентров и эпицентров землетрясений [Ананьин, 1977; Горшков, 1984: Джибладзе, 1980; Рогожин, 2017; Рогожин и др., 2013; и др.]. Информация о разломной тектонике служит одним из основных исходных материалов при детальном изучении сейсмической активности в целях детального сейсмического районирования и определения максимально возможных землетрясений [Рогожин и др., 2013; и др.].

Наиболее крупные из установленных разломов нашли отображение на тектонических схемах различных авторов, составленных как для отдельных регионов, так и для всего Предкавказья [Гиоргобиани, 2020; Сидоров, Кузьмин, 1989; Смирнова и др., 1967; Стерленко, Вобликов, 1991; Летавин и др., 1975; Черкашин и др., 2012; Шемпелев, 1982; и др.]. Однако, на разных картах местоположение, а зачастую и протяженность разломов различные, что требует их уточнения. Как известно, положение разломов устанавливается по комплексу геолого-геофизических критериев, причем геофизические признаки являются преобладающими.

Исходные материалы

В качестве основных исходных материалов для выявления разломов автором использовались карта аномалий силы тяжести масштаба 1:200 000 и карты магнитного поля масштабов 1:200 000 и 1:500 000. На основании этих данных были созданы цифровые модели гравитационного и магнитного полей. Аномальное гравитационное поле ТКП характеризуется отрицательными значениями силы тяжести (Δg_a). Оно относится к одноименной региональной области минимумов, включающей крупные аномальные зоны преимущественно кавказской ориентировки.

В северной части исследуемой территории расположена Притеречная зона монотонно убывающих к югу аномалий с субширотным простиранием изоаномал и небольшим (5–10 Е) горизонтальным градиентом гравитационного поля (*Wsz*). Она постепенно расширяется с запада на восток. Особенностями данной зоны являются осложнения в виде изгибов или разрежение изоаномал на фоне общего понижения поля в южном направлении, а также относительно крупные в плане максимум на северо-западе и минимум на востоке. С юга Притеречная зона сочле-

няется с региональным минимумом, протягивающимся почти на 300 км в направлении с северо-запада на юго-восток и включающим ряд локальных минимумов Δg_a . Южнее указанного регионального минимума находится Терско-Сунженская зона, включающая две линейные зоны максимумов, разделяющиеся Алханчуртской зоной минимумов. В плане эти зоны совпадают соответственно с Терской и Сунженской антиклинальными зонами и Алханчуртской синклиналью. Юго-восточным окончанием Сунженской зоны максимумов является крупный Бенойский максимум, который глубоко вдается в пределы Чеченской зоны минимумов. От расположенного южнее Варандийского максимума эта аномалия отделена относительно пониженным полем. С юга к Сунженской зоне максимумов непосредственно примыкает обширная сложнопостроенная региональная зона минимумов, включающая Беслановский и Чеченский минимумы. Эта полоса минимумов протягивается с северо-запада на юго-восток на несколько сот километров. Чеченская зона минимумов с севера и юга обрамляется довольно широкой полосой повышенных значений Wsz (до 100 E). С юга к указанной зоне минимумов примыкает зона относительных максимумов (шириной до 20 км), объединяющая две крупные локальные аномалии – Варандийскую на востоке и Датыхскую на западе, отличающиеся сложным характером. С юга Чеченскую зону минимумов обрамляет широкая зона высоких значений Wsz (до 100 E) силы тяжести, соответствующая Черногорской моноклинальной зоне. Эта градиентная зона обусловлена резким погружением мезозойских пород в северном направлении и влиянием Черногорского глубинного разлома, ограничивающего с юга ТКП. Одной из основных причин, обусловливающих сложный характер аномального гравитационного поля региона, является разломная тектоника [Керимов, 2011; Шемпелев, 1982; Шемпелев и др., 2017; Чотчаев и др., 2020; Blinova et al., 2019; Derakhshani, Eslami, 20111; Kamto et al., 2021; Fofie et al., 2019; Hiramatsu et al., 2019; Pedrera et al., 2017; Sharma et al., 2018; Wang et al., 2019; Wu, Gao, 2019].

При изучении разломной тектоники ТКП в качестве исходной сейсмологической информации были использованы сведения об исторических и инструментальных землетрясениях (1950–2020 гг.), а также макросейсмические данные [Ананьин, 1977; Горшков, 1984: Джибладзе, 1980; Керимов, Бадаев, 2014; и др.]. На рисунке 1 приведена карта эпицентров исторических и инструментальных (период 1950–2020 гг.) землетрясений на территории ТКП. Территория ТКП отмечается высокой сейсмичностью. Здесь известны сильные землетрясения с М≥5,0, как правило, сопровождающиеся значительными разрушениями, с интенсивностью 5-6 баллов и более по шкале МСК – 64 [Ананьин, 1977; Горшков, 1984: Джибладзе, 1980; Керимов, Бадаев, 2014; Минерально-сырьевые ресурсы..., 2015; и др.].

По характеру сейсмичности территория ТКП разделяется на две неравные части: западную с малой плотностью эпицентров и восточную со значительно большей плотностью эпицентров. Главное значение в сейсмичности Кавказа принадлежит поперечным разломам, сгущения же эпицентров располагаются в зонах пересечения разломов. Так, в ТКП намечаются три зоны сгущения эпицентров: первая в зоне пересечения Цхинвальско-Казбекского, Датыхско-Ахловского, Пшекиш-Тырныаузского и Срединного разломов (сейсмические районы: Карабулак, Датых, Заманкул, Малгобек, Ахлово). Вторая и третья сейсмические зоны связаны с пересечениями Аргунского разлома диагональными: Бенойско-Эльдаровским и Гудермесско-Моздокским разломами (сейсмические районы: Советское, Беной, Гудермес, Ведено).



Рис. 1. Карта эпицентров исторических и инструментальных (1950–2020 гг.) землетрясений западной части ТКП (сост. И.А. Керимов, С.В. Бадаев) / Fig. 1. Map of the epicenters of historical and instrumental earthquakes (1950–2020) in the western part of the TCT (compiled by I.A. Kerimov, S.V. Badaev)

Методы исследований

В настоящее время существует большое количество методов интерпретации гравитационного поля, большинство из которых имеет различные ограничения. Использование аппроксимационного подхода к спектральному анализу, основанного на методе линейных интегральных представлений В.Н. Страхова, позволяет устранить недостатки традиционных методов интерпретации. Для потенциальных геофизических полей в качестве соответствующих линейных интегральных представлений были предложены следующие модификации [Керимов, 2011]:

• метод F-аппроксимации, основанный на представлении потенциалов аномального гравитационного и магнитного полей интегралом Фурье;

• метод S-аппроксимации, основанный на представлении потенциалов аномального гравитационного и магнитного полей суммой потенциалов простого и двойного слоев на заданной поверхности S.

Теория, алгоритмы и компьютерные технологии F-аппроксимации в настоящее время разработаны для решения большого числа геофизических задач. Результаты апробирования метода на различных модельных и фактических геофизических данных, заданных на нерегулярной сети, позволили сделать вывод о высокой точности восстановления поля путем F-аппроксимации. В последние годы в рамках дальнейшего развития метода линейных интегральных представлений активно разрабатываются комбинированные методы F-, S-, R-аппроксимаций при решении задач геофизики и геоморфологии.

Метод F-аппроксимации позволяет принципиально по-новому решать ряд вопросов трансформации потенциальных полей, заданных на нерегулярной сети

 (x_1, x_2, x_3) :

$$W_a(x) \qquad x = (x_1, x_2, x_3)$$
 (1)

В качестве основного метода трансформации исходного поля был использован метод расчета вектора горизонтального градиента *Wsz* и третьей вертикальной производной *Wzzz* потенциала силы тяжести. Ранее [Керимов, 2011] было получено выражение для первой вертикальной производной гравитационного потенциала для заданной произвольной по горизонтали и вертикали сети расчетных точек

 (ξ_1,ξ_2,ξ_3) :

$$W_{z}(\xi_{1,l},\xi_{2,l},\xi_{3,l}) = \frac{3}{2\pi} \sum_{k=1}^{N} \lambda_{k} \frac{(2z_{k,l}^{2} - 3p_{k,l}^{2}) \cdot z}{(z_{k,l}^{2} + p_{k,l}^{2})^{\frac{7}{2}}},$$
(2)

где

 λ_i – множители Лагранжа;

$$p_{k,l} = \sqrt{(x_{1,k} - \xi_{1,l})^2 + (x_{2,k} - \xi_{2,l})^2}$$

Выражение для третьей вертикальной производной W_{zzz} потенциала силы тяжести на основе F-аппроксимации выглядит следующим образом:

$$W_{zzz}(\xi_{1,l},\xi_{2,l},\xi_{3,l}) = \frac{75}{\pi} \sum_{k=1}^{N} \lambda_k \frac{z_{k,l}(8z_{k,l}^4 - 40\rho_{k,l}^2 z_{k,l}^2 + 15\rho_{k,l}^4)}{(z_{k,l}^2 + \rho_{k,l}^2)^{5.5}}$$
(3)

Данное выражение позволяет находить пространственное распределение W_{zzz} на основе F-аппроксимации в заданной сети расчетных точек (ξ_1, ξ_2, ξ_3) . Расчеты W_{zzz} на модельных и фактических примерах показали более высокую эффективность и точность данного подхода по сравнению с существующими методами.

При детальном анализе сейсмичности в регионе наиболее информативными являются [Керимов, Бадаев, 2014; Рогожин и др., 2013]:

- данные о пространственном распределении эпицентров землетрясений;
- макросейсмические данные разрушительных землетрясений;
- площадное распределение сейсмической активности А₁₀.

Для расчета сейсмической активности A_{10} была использована формула Ризниченко Ю.В. (1964), которая при нормировании количества землетрясений на 1000 км² и за 1 год имеет следующий вид:

$$A_{10} = N_{\Sigma} \frac{1 - 10^{-\gamma}}{10^{\gamma(\min-10)}} \cdot \frac{1000}{S \cdot T}, \qquad (4)$$

где

 N_{Σ} – число эпицентров землетрясений в зоне осреднения площадью S, приведенное к периоду T представительности землетрясений класса K_{min} ;

K_{min} – наименьший из представительных класс энергии;

S – площадь осреднения (км²);

γ – наклон графика повторяемости.

Для расчета A_{10} была составлена компьютерная программа, реализующая способ суммирования с постоянной детальностью, основанный на суммировании числа землетрясений всех энергетических классов больше минимального представительного в фиксированной зоне осреднения. Как правило, при расчете сейсмической активности способом постоянной детальности территорию разбивают на прямоугольники или квадраты размером 10–20 км или 0,1-0,2° по широте и долготе. В пределах каждой зоны осреднения определяют общее число землетрясений разных энергетических классов N_{Σ} .

Результаты работы и их обсуждение

На рисунке 2 приведена карта *Wzzz* для западной части ТКП масштаба 1:200 000. Анализ данной карты свидетельствует о том, что в центральной части исследуемой территории преобладают интенсивные линейные субширотные аномалии, обусловленные Терской и Сунженской антиклинальными зонами. Северный платформенный борт ТКП характеризуется монотонно убывающим к северу полем *Wzzz*. Южная часть описываемого региона характеризуется большим количеством изометричных и разноориентированных аномалий *Wzzz*. В юго-восточной части выделяется достаточно крупная линейная аномалия антикавказского простирания.



Puc. 2. Карта W_{zzz} западной части ТКП / Fig. 2. W_{zzz} map of the western part of the TCT

Как показало моделирование аномального гравитационного поля системы разноориентированных разломов для их трассирования наиболее эффективно использование карт *Wsz* и *Wzzz*. В результате обработки аномалий силы тяжести (карта масштаба 1:200 000) были рассчитаны значения *Wsz* и *Wzzz*. По результатам расчетов были построены соответствующие карты *Wsz* и *Wzzz* масштаба 1:200 000 для территории ТКП. Анализ этих карт позволил сделать вывод, что на карте *Wsz* отображаются линейные тектонические дислокации различной ориентировки. Описанные карты *Wsz* и *Wzzz* модуля горизонтального градиента силы тяжести, а также карты локальных и региональных аномалий силы тяжести были положены в основу при составлении карты разломов. Кроме этого были использованы карты магнитных аномалий. Для территории ТКП были установлены следующие критерии выделения разломов по гравимагнитным данным:

• на картах *Wsz* силы тяжести – линейные зоны повышенных значений;

• на картах *Wzzz* – линейно вытянутые максимумы и минимумы, линейные зоны смены знака локального поля, т.е. нулевые изоаномалы, зоны резкого изменения простирания локальных аномалий и зоны резкого изменения характера гравитационного поля, осложнения локального поля сдвигового характера, т.е. резкие сдвиги осей локальных максимумов (минимумов) относительно друг друга, торцевое сочленение аномалий и пр.

• на картах магнитных аномалий – линейные магнитные аномалии положительного знака, сгущение изолиний, резкая смена знака и простирания магнитных аномалий, изменение характера магнитных аномалий, осложнения сдвигового характера.



На рисунке 3 приведена карта сейсмической активности А₁₀.

Рис. 3. Карта сейсмической активности А₁₀ западной части ТКП (сост. И.А. Керимов, С.В. Бадаев) /

Fig. 3. Map of seismic activity A₁₀ of the western part of the TCT (compiled by I.A. Kerimov, S.V. Badaev)

По данным интерпретации геолого-геофизических данных уточнена система существующих и выделены новые разломы (рис. 4):

• Разломы субширотного (общекавказского) простирания (азимут 285–290°): Краевой, Терский, Сунженский и Черногорский.

• Разломы северо-западного простирания: Алагирский, Урухский, Даттыхско-Ахловский, Мартановский.

• Разломы северо-восточного (антикавказского) простирания: Черекский, Ардонский, Гизельдонский, Алкунский, Ассинский, Гехинский, Аргунский, Аксайский.

• Гудермесско-Кизлярская зона разломов: Кизлярский и Шелковской.

На рисунке 5 приведены результаты сопоставления поля *Wzzz* и системы разломов западной части ТКП. На рисунке 6 приведена карта разломов западной части ТКП с эпицентрами сильных исторических и инструментальных землетрясений.



Рис. 4. Карта разломов западной части ТКП (сост. И.А. Керимов, М.Я. Гайсумов, С.В. Бадаев) Условные обозначения: 1 – разломы I порядка границы ТКП; 2 – разломы II порядка (шовные зоны); 3 – глубинные разломы; 4 – предполагаемые.

I-Краевой; II-Черногорский; III-Терский; IV-Сунженский; V-Урухский; VI-Алагирский; VII - Даттыхско-Ахловский; VIII – Мартановский; IX – Черекский; X – Ардонский; XI – Гизельдонский; XII – Ассинский; XIII – Гехинский; XIV – Аргунский; XV – Аксайский; XVI – Акташский; XVII – Алкунский; XVIII – Самашкинский; XIX – Гойтинский; XX – Шелковской; XXI – Кизлярский /

Fig. 4. Map of faults in the western part of the TCT (compiled by I.A.Kerimov, M.Ya. Gaisumov, S.V. Badaev)

Legend: 1 - faults of the first order of the TCT boundary; 2 - faults of the II order (suture zones); 3 - deep faults; 4 - assumed faults.

I – Kraevoi; II – Chernogorsk; III – Tersk; IV – Sunzhensk; V – Urukh; VI – Alagir; VII – Dattykh-Akhlov; VIII – Martan; IX – Cherek; X – Ardon; XI – Giseldon; XII – Assinsk; XIII – Gekhinsk; XIV – Argun; XV – Aksay; XVI – Aktash; XVII – Alkunsk; XVIII – Samashkinsk; XIX – Goytinsk; XX – Shelkovskaya; XXI – Kizlyar



Рис. 5. Карта сопоставления W_{zzz} и разломов западной части ТКП (сост. И.А. Керимов, С.В. Бадаев) /

Fig. 5. Map of comparison of W_{zzz} and faults in the western part of the TCT (compiled by I.A. Kerimov, S.V. Badaev)



Рис. 6. Карта эпицентров инструментальных (1950–2020 гг.) землетрясений и разломов западной части ТКП (сост. И.А. Керимов, С.В. Бадаев) / Fig. 6. Map of the epicenters of instrumental earthquakes (1950–2020) and faults in the western part of

the TCT (compiled by I.A. Kerimov, S.V. Badaev)

Выводы

1. По данным интерпретации геолого-геофизических данных уточнена система существующих и выделены новые (Кизлярский и Шелковской) разломы.

2. Разломы общекавказского простирания (Краевой, Терский, Сунженский и Черногорский) получили наиболее четкое отражение в геофизических полях и сейсмичности. По характеру новейшей активизации очень неоднородны, что создает впечатление локальности их распространения.

3. Наибольшая геодинамическая активность отмечается в зонах пересечений разломов различных ориентировок, отмечается группирование эпицентров землетрясений в пределах блоков земной коры, ограниченных разломами.

Литература

1. Ананьин И.В. Сейсмичность Северного Кавказа. – М.: Наука, 1977. – 148 с.

2. Горшков Г.П. Региональная сейсмотектоника территории юга СССР. Альпийский пояс. – М.: Наука, 1984. – 272 с.

3. Джибладзе Э.А. Энергия землетрясений, сейсмический режим и сейсмотектонические движения Кавказа. – Тбилиси: Мецниереба, 1980. – 255 с.

4. Гиоргобиани Т. В. Этапы, механизмы и геодинамика формирования складчатой системы Большого Кавказа. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. №1. – С. 35–42. DOI: 10.23671/VNC.2020.1.59063.

5. Керимов И.А. Метод F-аппроксимации при решении задач гравиметрии и магнитометрии. – М.: Физматлит, 2011. – 264 с.

6. Керимов И.А., Бадаев С.В. Сейсмичность и сейсмический режим территории Восточного Предкавказья. // Известия КБНЦ РАН. – 2014. – №1(57). – С. 38–45.

7. Крисюк И.М., Сазонов И.Г., Стерленко З.В. Роль разломов разных генераций в формировании скоплений углеводородов на территории Терско-Каспийского прогиба. // Геолого-геофизические проблемы поисков нефти. – М.: Наука, 1988. – С. 47–53.

8. Минерально-сырьевые ресурсы Чеченской Республики. / Под ред. Керимова И.А., Аксенова Е.М. – Грозный: Грозненский рабочий, 2015. – 512 с.

9. Рогожин Е.А. Тектоническая позиция, сейсмотектонические, макросейсмические и сейсмологические проявления Курчалойского землетрясения 11 октября 2008 г. в Чеченской Республике. // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – Т. 7. №3. – С. 111–116.

10. Рогожин Е.А, Лутиков А.И., Овсюченко А.Н. Оценка сейсмической опасности Северного Кавказа в детальном масштабе. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2013. – №5. – С. 14–19.

11. Сидоров В.А., Кузьмин Ю.О. Современные движения земной коры осадочных бассейнов. – М.: Наука, 1989. – 183 с.

12. Смирнова М.Н., Станулис В.А., Яковлева Т.В. Рекомендации по дальнейшему направлению поисково-разведочных работ и новые данные о глубинном строении Терско-Каспийского прогиба. – Грозный: Грозненский рабочий, 1967. – 51 с.

13. Стерленко Ю.А., Вобликов Б.Г. Геодинамика, глубинные разломы и деструктивные поля Терско-Каспийского прогиба. // Известия СКНЦ ВШ. Естественные науки. – 1991. – №3. – С. 80–88.

14. Летавин А.И., Романов Ю.А., Савельева Л.М. и др. Тектоника Восточного Пред-кавказья. – М.: Наука, 1975. – 80 с.

15. Черкашин В.И., Сабанаев К.А., Гаврилов Ю.О., Панов Д.И. Тектоническая карта Дагестана в М 1:500 000. Объяснительная записка. – Махачкала: ИГ ДНЦ РАН, 2012. – 129 с.

16. Чотчаев Х. О., Бурдзиева О. Г., Заалишвили В. Б. Влияние геодинамических процес-сов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. №4. – С. 70–100. DOI: 10.46698/VNC.2020.87.26.005.

17. Шемпелев А.Г. Разломно-блоковая тектоника Северного Кавказа по геофизическим данным. // Геологический журнал. – 1982. – №4. – С. 97–108.

18. Шемпелев А.Г., Чотчаев Х.О., Кухмазов С.У. Данные глубинных геофизических исследований вдоль Чегемского профиля (Центральный блок, Большой Кавказ). // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – Т. 7. №2. – С. 129–134.

19. Blinova T. Generalization of the features of the geodynamically unstable zones and their connection with the deep structure low seismic activity region. // 19^{th} International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM. – 2019. – V. 19. – pp. 813-820.

20. Derakhshani R., Eslami S. A new viewpoint for seismotectonic zoning. // American Journal of Environmental Sciences. – 2011. – Vol. 7. No.3. – pp. 212–218.

21. Fofie K.A.D., Koumetio F., Kenfack J.V., & Yemele D. Lineament characteristics using gravity data in the Garoua Zone, North Cameroon: Natural risks implications. // Earth and Planetary Physics. – 2019. – Vol. 3(1). – pp. 33-44. DOI:10.26464/epp2019009

22. Hiramatsu Y., Sawada A., Kobayashi W., Ishida S., & Hamada M. Gravity gradient tensor analysis to an active fault: a case study at the Togi-gawa Nangan fault, Noto Peninsula, central Japan. // Earth Planets and Space. – 2019. – Vol. 71(1). Article 107. DOI:10.1186/s40623-019-1088-5

23. Jordan T.A., & Watts A.B. Gravity anomalies, flexure and the elastic thickness structure of the India-Eurasia collisional system. // Earth and Planetary Science Letters. – 2005. – Vol. 236(3-4). – pp. 732-750. DOI:10.1016/j.epsl.2005.05.036

24. Kamto P.G., Lemotio W., Tokam A.-P.K., Yap L. Combination of Terrestrial and Satellite Gravity Data for the Characterization of the Southwestern Coastal Region of Cameroon: Appraisal for Hydrocarbon Exploration. // International Journal of Geophysics. –2021. – Article ID 5554528. – 14 p.

25. Pedrera A., Garcia-Senz J., Ayala C., Ruiz-Constan A., Rodriguez-Fernandez L.R., Robador A., & Menendez L.G. Reconstruction of the Exhumed Mantle Across the North Iberian Margin by Crustal-Scale 3-D Gravity Inversion and Geological Cross Section. // Tectonics. – 2017. – Vol. 36(12). – pp. 3155-3177. DOI:10.1002/2017tc004716

26. Sharma S., Sarma J.N., & Baruah S. Dynamics of Mikir hills plateau and its vicinity:

inferences on Kopili and Bomdila faults in northeastern india through seismotectonics, gravity and magnetic anomalies. // Annals of Geophysics. – 2018. Vol. 61(3). Article Se338. DOI:10.4402/ ag-7516

27. Wang X., Zhang J.F., Jiang W.L., & Wang D.H. Gravity field and deep seismogenic environment in the Longmen Shan and adjacent regions, Eastern Tibetan Plateau. // Journal of Asian Earth Sciences. – 2019. – Vol. 176. – pp. 79-87. DOI:10.1016/j.jseaes.2019.02.003

28. Wu Y., & Gao Y. Gravity pattern in southeast margin of Tibetan Plateau and its implications to tectonics and large earthquakes. // Earth and Planetary Physics. – 2019. – Vol. 3(5). – pp. 425-434. DOI:10.26464/epp2019044

References

1. Ananin I.V. Seismicity of the North Caucasus. Moscow. Nauka, 1977. 148 p. (In Russ.)

2. Gorshkov G.P. Regional seismotectonics of the territory of the south of the USSR. Alpine belt. Moscow. Nauka, 1984. 272 p. (In Russ.)

3. Dzhibladze E.A. Energy of earthquakes, seismic regime and seismotectonic movements of the Caucasus. Tbilisi. Metsniereba, 1980. 255 p. (In Russ.)

4. Giorgobiani T.V. Stages, Mechanism and Geodynamics of Formation of the Folded System of the Greater Caucasus. Geology and Geophysics of Russian South. 2020. Vol. 10(1). pp. 35–42. DOI: 10.23671/VNC.2020.1.59063. (in Russ.)

5. Kerimov I.A. F-approximation method for solving problems of gravimetry and magnetometry. Moscow. Fizmatlit, 2011. 264 p. (In Russ.)

6. Kerimov I.A., Badaev S.V. Seismicity and seismic regime of the territory of the Eastern Ciscaucasia. Izvestiya KBSC RAS. 2014. No. 1. Issue 57. pp. 38–45. (In Russ.)

7. Krisyuk I.M., Sazonov I.G., Sterlenko Z.V. The role of faults of different generations in the formation of hydrocarbon accumulations in the Tersk-Caspian trough. Geological and geophysical problems of oil prospecting. Moscow. Nauka, 1988. pp. 47–53. (In Russ.)

8. Mineral resources of the Chechen Republic. Ed. I.A. Kerimov, E.M. Aksenov. Grozny. Grozny worker, 2015. 512 p.

9. Rogozhin E.A. Tectonic position, seismotectonic, makroseismic and seismic manifestations of the Kurchaloy earthquake 11 October 2008 in the Chechen Republic. Geology and Geophysics of Russian South. 2021. Vol. 7. No.3. pp. 111-116. (in Russ.)

10. Rogozhin E.A., Lutikov A.I., Ovsyuchenko A.N. Assessment of the seismic hazard of the North Caucasus on a detailed scale. Earthquake Engineering. Constructions Safety. 2013. No. 5. pp. 14–19. (In Russ.)

11. Sidorov V.A., Kuzmin Yu.O. Contemporary movements of the Earth's crust in sedimentary basins. Moscow. Nauka, 1989. 183 p. (In Russ.)

12. Smirnova M.N., Stanulis V.A., Yakovleva T.V. Recommendations for the further direction of prospecting and exploration work and new data on the deep structure of the Terek-Caspian trough. Grozny. Grozny worker, 1967. 51 p. (In Russ.)

13. Sterlenko Yu.A., Voblikov B.G. Geodynamics, deep faults and destructive fields of the Terek-Caspian trough. Bulletin of Higher Education Institutes. Natural Sciences. 1991. No. 3. pp. 80–88. (In Russ.)

14. Letavin A.I., Romanov Yu.A., Savelyeva L.M. et al. Tectonics of the Eastern Ciscaucasia. Moscow. Nauka, 1975. 80 p. (In Russ.)

15. Cherkashin V.I., Sabanaev K.A., Gavrilov Yu.O., Panov D.I. Tectonic map of Dagestan in Scale 1: 500 000. Explanatory note. Makhachkala: IG DSC RAS, 2012. 129 p. (In Russ.)

16. Chotchaev Kh.O., Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B. Influence of geodynamic processes on the geoecological state of high mountain areas. Geology and Geophysics of Russian South. 2020. Vol. 10(4). pp. 70–100. DOI: 10.46698/VNC.2020.87.26.005. (In Russ.)

17. Shempelev A.G. Fault-block tectonics of the North Caucasus according to geophysical data. Geological journal. 1982. No. 4. pp. 97–108. (In Russ.)

18. Shempelev A.G., Chotchaev H.O., Khuhmazov S.U. Data of deep geophysical surveys along Chegem profile (central block, the Greater Caucasus). Geology and Geophysics of Russian South. 2021. Vol. 7. No.3. pp. 129-134. (In Russ.)

19. Blinova T. Generalization of the features of the geodynamically unstable zones and their connection with the deep structure low seismic activity region. 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM. 2019. Vol. 19. pp. 813-820.

20. Derakhshani R., Eslami S. A new viewpoint for seismotectonic zoning. American Journal of Environmental Sciences. 2011. Vol. 7. No.3. pp. 212–218.

21. Fofie K.A.D., Koumetio F., Kenfack J.V., & Yemele D. Lineament characteristics using gravity data in the Garoua Zone, North Cameroon: Natural risks implications. Earth and Planetary Physics. 2019. Vol. 3(1). pp. 33-44. DOI:10.26464/epp2019009

22. Hiramatsu Y., Sawada A., Kobayashi W., Ishida S., & Hamada M. Gravity gradient tensor analysis to an active fault: a case study at the Togi-gawa Nangan fault, Noto Peninsula, central Japan. Earth Planets and Space. 2019. Vol. 71(1). Article 107. DOI:10.1186/s40623-019-1088-5

23. Jordan T.A., & Watts A.B. Gravity anomalies, flexure and the elastic thickness structure of the India-Eurasia collisional system. Earth and Planetary Science Letters. 2005. Vol. 236(3-4). pp. 732-750. DOI:10.1016/j.epsl.2005.05.036

24. Kamto P.G., Lemotio W., Tokam A.-P.K., Yap L. Combination of Terrestrial and Satellite Gravity Data for the Characterization of the Southwestern Coastal Region of Cameroon: Appraisal for Hydrocarbon Exploration. International Journal of Geophysics. 2021. Article ID 5554528. 14 p.

25. Pedrera A., Garcia-Senz J., Ayala C., Ruiz-Constan A., Rodriguez-Fernandez L.R., Robador A., & Menendez L.G. Reconstruction of the Exhumed Mantle Across the North Iberian Margin by Crustal-Scale 3-D Gravity Inversion and Geological Cross Section. Tectonics. 2017. Vol. 36(12). pp. 3155-3177. DOI:10.1002/2017tc004716

26. Sharma S., Sarma J.N., & Baruah S. Dynamics of Mikir hills plateau and its vicinity: inferences on Kopili and Bomdila faults in northeastern india through seismotectonics, gravity and magnetic anomalies. Annals of Geophysics. 2018. Vol. 61(3). Article Se338. DOI:10.4402/ ag-7516

27. Wang X., Zhang J.F., Jiang W.L., & Wang D.H. Gravity field and deep seismogenic environment in the Longmen Shan and adjacent regions, Eastern Tibetan Plateau. Journal of Asian Earth Sciences. 2019. Vol. 176. pp. 79-87. DOI:10.1016/j.jseaes.2019.02.003

28. Wu Y., & Gao Y. Gravity pattern in southeast margin of Tibetan Plateau and its implications to tectonics and large earthquakes. Earth and Planetary Physics. 2019. Vol. 3(5). pp. 425-434. DOI:10.26464/epp2019044