

УДК 550.389:550.34(479)

DOI: 10.46698/VNC.2025.99.85.001

Оригинальная статья

Аномальное магнитное поле и сейсмичность Большого Кавказа и Восточного Предкавказья

В.В. Стогний¹, Г.А. Стогний¹, Н.Л. Пономарева²

¹ Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Россия, 362002,
г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: stogny_vv@mail.ru;

² Единая геофизическая служба РАН, Сейсмическая станция «Махачкала»,
Россия, 367010, г. Махачкала, ул. Ахундова, 136

Статья поступила: 02.07.2025, доработана: 05.09.2025, принята к публикации: 09.09.2025

Резюме: Актуальность работы. Поиск новых подходов к разработке моделей формирования сейсмичности Большого Кавказа и его отдельных сейсмоактивных регионов является одним из путей повышения эффективности и достоверности этих исследований. Аномальное магнитное поле наряду с гравитационным является индикатором структуры земной коры. В этом плане предлагается рассмотреть возможности от использования на разных стадиях исследований регионального магнитного поля как индикатора структурных особенностей земной коры. **Цель работы.** Выявление особенностей в характере регионального магнитного поля, отражающих аномалиеобразующие факторы структуры земной коры, оказывающих влияние на процессы современной геодинамики и сейсмичности региона исследований. **Методы исследования.** Сопоставление региональных аномалий магнитного поля по отношению к блоковой структуре консолидированной земной коры и распределению эпицентров сильных (магнитудой $M \geq 5.0$) землетрясений. **Результаты работы.** На основе анализа и синтеза материалов по структуре земной коры, сейсмичности и аномальному магнитному полю региона исследований выявлены общие закономерности и обоснованы направления комплексных исследований геодинамических процессов и современной сейсмичности региона. Отмечена закономерность, что прогибам Восточного Предкавказья, Терско-Каспийскому, Восточно-Манычскому и Кизлярскому, соответствуют положительные региональные аномалии магнитного поля. Это отражает, по-видимому, особенности строения консолидированной коры прогибов, содержащей толщи основных–ультраосновных пород, сформировавшихся в режиме локального растяжения земной коры, в то время как валы формировались в режиме сжатия. Оценена потенциальная информативность регионального магнитного поля для разработки структурно-реологических моделей консолидированной земной коры Большого Кавказа и прилегающих территорий и обоснована необходимость проведения специализированных палеомагнитных исследований.

Ключевые слова: Большой Кавказ, Скифская плита, сейсмичность, магнитное поле, консолидированная кора, тектонический блок, сейсмогенерирующие структуры, сейсмогенный разлом, реология, гравитационное поле.

Благодарности: Работа выполнена по госзаданию Геофизического института ВНЦ РАН, код: FMSM-2025-0025.

Для цитирования: Стогний В.В., Стогний Г.А., Пономарева Н.Л. Аномальное магнитное поле и сейсмичность Большого Кавказа и Восточного Предкавказья. *Геология и геофизика Юга России*. 2025. 15(3): 79-91. DOI: 10.46698/VNC.2025.99.85.001

DOI: 10.46698/VNC.2025.99.85.001

Original paper

Anomalous magnetic field and seismicity of the Greater Caucasus and Eastern Ciscaucasia

V.V. Stogny¹, G.A. Stogny¹, N.L. Ponomareva²

¹ Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, 93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation, e-mail: stogny_vv@mail.ru;

² Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences, Seismic station "Makhachkala", 136 Akhundova Str., Makhachkala 367010, Russian Federation

Received: 02.07.2025, revised: 05.09.2025, accepted: 09.09.2025

Abstract: Relevance. Search for new approaches to developing models of seismicity formation in the Greater Caucasus and its separate seismically active regions is one of the ways to increase the efficiency and reliability of these studies. The anomalous magnetic field, along with the gravitational field, is an indicator of the structure of the Earth's crust. In this regard, it is proposed to consider the possibilities of using the regional magnetic field as an indicator of the structural features of the Earth's crust at different stages of research. **Aim.** Identification of features in the character of the regional magnetic field, reflecting anomaly-forming factors of the structure of the earth's crust, influencing the processes of modern geodynamics and seismicity of the research region. **Methods.** Comparison of regional magnetic field anomalies in relation to the block structure of the consolidated Earth's crust and the distribution of epicenters of strong (magnitude $M \geq 5.0$) earthquakes. **Results.** Based on the analysis and synthesis of materials on the structure of the Earth's crust, seismicity and anomalous magnetic field of the studied region, general patterns were revealed and directions of complex studies of geodynamic processes and modern seismicity of the region were substantiated. It was noted that the troughs of the Eastern Ciscaucasia, Tersk-Caspian, East Manych and Kizlyar, correspond to positive regional anomalies of the magnetic field. This apparently reflects the structural features of the consolidated crust of the troughs containing strata of basic-ultramafic rocks formed in the mode of local extension of the Earth's crust, while the swells were formed in the compression mode. The potential information content of the regional magnetic field for the development of structural and rheological models of the consolidated crust of the Greater Caucasus and adjacent territories was estimated and the need for specialized paleomagnetic studies was substantiated.

Keywords: Greater Caucasus, seismicity, magnetic field, consolidated crust, tectonic block, seismogenic structures, seismogenic fault, Scythian plate, rheology, gravitational field.

Acknowledgment: This work was carried out according to the state assignment of the Geophysical Institute of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, code: FMSM-2022-0013.

For citation: Stogny V.V., Stogny G.A., Ponomareva N.L. Anomalous magnetic field and seismicity of the Greater Caucasus and Eastern Ciscaucasia. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2025. 15(3): 79-91. DOI: 10.46698/VNC.2025.99.85.001

Введение

Одними из сейсмоопасных регионов России являются Северный Кавказ и Предкавказье. Исследованию современной геодинамики и сейсмичности этих регионов и близлежащих территорий посвящены обобщающие работы [Ананьин, 1977; Лукк, Шевченко, 2019; Рогожин и др., 2014; Уломов и др., 2007 и др.]. Ключевой при этом

является проблема взаимосвязи глубинного строения данных регионов и их сейсмичности, исследованию которой посвящены работы [Гонгадзе, 2016; Горбатилов и др., 2015; Рогожин и др., 2015 и др.]. В качестве сейсмогенерирующих структур обычно рассматриваются тектонические нарушения [Маммадли, 2022; Tibaldi et al., 2020; Tseng et al., 2016].

Основная часть гипоцентров землетрясений Большого Кавказа и прилегающих территорий локализована в пределах консолидированной земной коры [Tibaldi et al., 2020]. С учетом этого была проведена работа, где обосновано, что сейсмогенными являются блоки консолидированной коры и ограничивающие их разломы [Стогний и др., 2024].

Магнитное поле наряду с гравитационным является индикатором структуры земной коры. Цель проведенных исследований заключалась в поиске закономерностей регионального магнитного поля, отражающих аномалиеобразующие факторы структуры земной коры, и оценке их возможного влияния на процессы современной геодинамики и сейсмичности.

Методология и методы исследований

Общая методология исследований основывалась на комплексном анализе геолого-геофизических материалов для достижения основной цели – оценки информативности аномального магнитного поля (АМП) относительно сейсмических процессов региона исследований. Объектом исследования является Большой Кавказ (за исключением Северо-Западного Кавказа, который в силу специфики его геодинамических условий должен рассматриваться в качестве самостоятельного объекта), и близлежащие области, включая Восточное Предкавказье.

В качестве основы для анализа выбрано АМП региона исследований согласно [Карта аномального ..., 2000], отражающего основные его особенности. Сопоставление региональных аномалий АМП выполнялось по отношению к блоковой структуре консолидированной земной коры, разработанной по результатам интерпретации гравитационного поля и глубинных геофизических исследований опорных профилей (МОВ-ОГТ, МОВЗ, МТЗ) [Стогний, Стогний, 2023]. Тектонические нарушения рассматривались как межплитные, межблоковые, внутриблоковые, а блоки – как блоки I и II порядка соответствующих плит (микроплит), Скифской и краевых частей Восточно-Черноморской и Закавказской плит.

Анализ характера сейсмичности региона исследований выполнялся сопоставлением распределения эпицентров сильных (с магнитудой $M \geq 5.0$) землетрясений за период 1900–2022 гг., приведенных в работе [Габсатарова, Зверева, 2023], а также современной сейсмичности за период 2001–2021 гг. для землетрясений с магнитудой $M \geq 3.5$ [Стогний и др., 2024], и особенностей АМП.

Общие результаты выполненных работ получены путем комплексного анализа и синтеза исходных материалов, что явилось основой для выработки рекомендаций по использованию информации, содержащейся в АМП, в моделях формирования сейсмичности региона исследования.

Структура АМП региона исследований

Общий анализ АМП региона исследований в сопоставлении с тектонической структурой фундамента и распределением эпицентров сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 5.0$ выполнен в пределах площади 41.5° – 45° с.ш., 41° – 49° в.д., а со-

поставление АМП со структурами Восточного Предкавказья – в пределах площади тектонической карты палеозойского фундамента по [Джабраилов и др., 1993] (43° – 45.5° с.ш., 43° – 46.5° в.д.).

Региональные аномалии АМП в пределах площади исследования имеют интенсивность до ± 300 нТл, а локальные аномалии более высокой интенсивности (как положительные, так и отрицательные) обычно приурочены к массивам вулканогенных и интрузивных пород. Схема АМП региона исследований, распределения эпицентров сильных землетрясений и блоковой делимости консолидированной коры показана на рисунке 1.

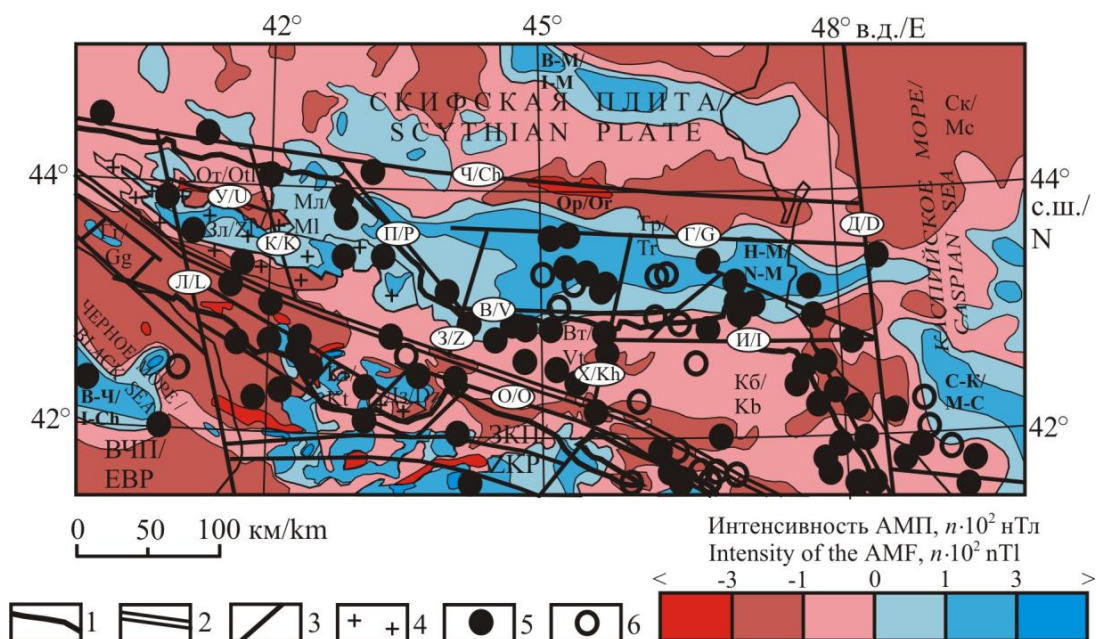


Рис. 1. АМП по [Карта аномального ..., 2000] и эпицентры сильных землетрясений за период 1900–2022 гг. [Габсатарова, Зверева, 2023] на схеме блоковой делимости консолидированной коры Большого Кавказа [Стогний, Стогний, 2023].

1 – границы мегантиклинория Большого Кавказа; 2 – Сването-Алазанский межплитный разлом; 3 – разломы: Л – Лаба-Батумский, У – Урупозеленчукский, Ч – Черкесско-Кизлярский, Г – Грозненский, К – Верхнекубанский, П – Пятигорский, З – Згитский, В – Владикавказский, Х – Халкилойский, И – Известняковый, Д – Дербент-Ленкоранский, О – Они-Шекийский; 4 – выходы протерозойских метаморфических пород и палеозойских гранитов Центрального сегмента и Дзирульского массива; 5, 6 – эпицентры сильных (с магнитудой $M \geq 5.0$) землетрясений: 5 – за период 1900–2000 гг., 6 – за период 2001–2022 гг.. Региональные аномалии магнитного поля: положительные – В-Ч – Восточно-Черноморская, Н-М – Нальчик-Махачкалинская, В-М – Восточно-Манычская, С-К – Средне-Каспийская; отрицательные – Ор – Ортоотюбинская. Литосферные плиты и микроплиты:

ВЧП – Восточночерноморская, ЗКП – Закавказская. Блоки консолидированной коры: Зл – Зеленчукский, От – Отраднинский, Мл – Малкинский, Тр – Терский, Вм – Верхнетерский, Кб – Кубачинский, Гз – Гагринский, Кт – Кутаисский, Дз – Дзирульский, Ск – Среднекаспийский /

Fig. 1. AMF according to [Map of the anomalous ..., 2000] and epicenters of strong earthquakes for the period 1900–2022 [Gabsatarova, Zvereva, 2023] on the scheme of the block divisibility of the consolidated crust [Stogny, Stogny, 2023] of the Greater Caucasus.

1 – boundaries of the Greater Caucasus meganticlinorium; 2 – Svaneti-Alazani interplate fault; 3 – faults: L – Laba-Batumi, U – Urupozelenchuk, Ch – Cherkessk-Kizlyar, G – Groznensky, K – Verkhnekuban, P – Pyatigorsky, Z – Zgitsky, V – Vladikavkazsky, Kh – Khalkiloi, I – Izvestnyakovy, D – Derbent-Lenkoran, O – Onishekian; 4 – outcrops of Proterozoic metamorphic rocks and Paleozoic granites of the Central segment and the Dziruli massif; 5, 6 – epicenters of strong (with a magnitude of $M \geq 5.0$) earthquakes: 5 – for the period 1900–2000, 6 – for the period 2001–2022.

Regional magnetic field anomalies:

positive – I-Ch – East Black Sea, N-M – Nalchik-Makhachkalinskaya, I-M – East-Manychskaya, M-C – Middle-Caspian; negative – Or – Ortotyubinskaya. Lithospheric plates and microplates: EBP – East Black Sea, ZKP – Transcaucasian. Blocks of consolidated crust: Zl – Zelenchuksky, Ot – Otradninsky, Ml – Malkinsky, Tr – Tersky, Vt – Verkhnetersky, Kb – Kubachinsky, Gg – Gagrynsky, Kt – Kutaisky, Dz – Dzirulsky, Mc – Middle-caspian

Скифская плита. В северной части региона исследований выделяется протяженная (до 200 км) Восточно-Манычская положительная магнитная аномалия интенсивностью до 300 нТл, имеющая северо-западное простирание. Южнее, субпараллельно этой аномалии, выделяется Ортотюбинская отрицательная магнитная аномалия интенсивностью до -300 нТл, расположенная в осевой части Черкесско-Кизлярского разлома. Данная аномалия на юге граничит с Нальчик-Махачкалинской региональной положительной (интенсивностью до 300 нТл) магнитной аномалией субширотного простирания протяженностью до 400 км, локализованной в пределах Терского блока I порядка консолидированной коры, северным ограничением которого является Черкесско-Кизлярский разлом, южным – Владикавказский и Известняковый разломы, а западное и восточное ограничения представлены соответственно Пятигорским и Дербент-Ленкоранским разломами. Расположенные южнее Терского блока Верхнетерский и Кубачинский блоки консолидированной коры, южное ограничение которых представлено Сването-Алазанским межплитным разломом, представляющим собой восточный фрагмент Большееавказского разлома, характеризуются слабоаномальным отрицательным магнитным полем с отдельными отрицательными аномалиями интенсивностью - 100 нТл.

Западнее Терского блока по данным интерпретации гравитационного поля был выделен Эльбрусский блок консолидированной коры [Стогний, Стогний, 2023], ограниченный с севера и юга соответственно Черкесско-Кизлярским разломом и Сването-Алазанским межплитным разломом, а с востока и запада – Пятигорским и Лаба-Батумским разломами. На основе магнитного поля этот блок разделен на три блока II порядка, на востоке это Малкинский блок, граничащий по Верхнекубанскому разлому с расположенными западнее Зеленчукским и Отраднинским блоками. Малкинский блок в пределах основной своей части (за исключением южной) имеет повышенное магнитное поле. Субгоризонтальная граница между Зеленчукским и Отраднинским блоками проведена по Урупозеленчукскому разлому, выделенному по одноименной отрицательной аномалии магнитного поля, по морфологии подобной Ортотюбинской магнитной аномалии, приуроченной к Черкесско-Кизлярскому разлому которая, возможно, имеет такую же природу. Отраднинский блок, расположенный к северу от Урупозеленчукского разлома, имеет магнитное поле низкоинтенсивное и преимущественно отрицательное. В пределах северной части Зеленчукского блока контуры положительной магнитной аномалии интенсивностью до 300 нТл примерно соответствуют локализованному здесь крупному массиву гранитоидов, а в южной части – такой же интенсивности отрицательное магнитное поле, приуроченное к расположенному южнее второму массиву гранитоидов. Это может свидетельствовать, на наш взгляд, об их формировании в различные магнитные эпохи, различающиеся полярностью земного магнитного поля.

Восточная окраина Скифской плиты представлена Среднекаспийским блоком, западной границей которого является Дербент-Ленкоранский разлом. В акватории Среднего Каспия выделяется одноименная Средне-Каспийская региональная положительная магнитная аномалия.

Восточночерноморская микроплита. В пределах региона исследований Восточночерноморская микроплита представлена своим северо-восточным флангом, граничащим по Сването-Алазанскому межплитному разлому со Скифской плитой. В восточной части акватории Черного моря выделяется одноименная ей положительная Восточно-Черноморская региональная магнитная аномалия.

Закавказская микроплита. Северный фланг Закавказской микроплиты граничит по Сването-Алазанскому межплитному разлому со Скифской плитой, АМП в его пределах имеет сложный характер, отражающий неоднородность земной коры. Следует отметить, что эта неоднородность проявляется и в высокоплотных блоках II порядка, Дзирульском и Кутаисском, где отмечаются локальные магнитные аномалии (в Дзирульском блоке в его северной части).

Сейсмичность региона исследований

В данном разделе охарактеризованы общие закономерности распределения эпицентров сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 5.0$ согласно схеме [Габсатарова, Зверева, 2023] (см. рис. 1) и их возможной связи с особенностями строения земной коры, отражающихся в АМП.

Скифская плита. За исследуемый период (с 1900 г.) сильных землетрясений севернее Черкесско-Кизлярского разлома не зарегистрировано, а сам этот разлом, по видимому, является сейсмогенным, в зоне его влияния зарегистрировано несколько сильных землетрясений. В пределах Терского блока консолидированной коры основная часть эпицентров землетрясений локализована в пределах Нальчик-Махачкалинской региональной положительной магнитной аномалии и на ее границах. Довольно высокой сейсмической активностью отмечаются Малкинский и Зеленчукский блоки, в пределах которых АМП высокой интенсивности, в Отраднинском блоке, характеризующемся слабым отрицательным магнитным полем, эпицентры крупных землетрясений не зарегистрированы. Также практически асейсмичной является основная часть Кубачинского блока, эпицентры крупных землетрясений локализованы в его восточной и западной частях, при этом отмечается их приуроченность к интенсивным отрицательным аномалиям магнитного поля. Верхнетерский блок, представляющий собой переходную зону Центрального и Восточного сегментов Большого Кавказа, характеризуется довольно высокой сейсмичностью.

Обращает на себя внимание приуроченность значительной части эпицентров сильных землетрясений, в том числе произошедших в XXI веке, к южной границе Средне-Каспийской региональной положительной магнитной аномалии. Согласно [Вольфман и др., 2025], для Среднекаспийского региона характерны как обстановки сжатия, так и обстановки растяжения (и транстенсии) коры в ЮЮЗ–ССВ направлении. Очаги землетрясений, обусловленные обстановками растяжения, сосредоточены, главным образом, в акватории Каспийского моря, на границе областей с корой континентального и субокеанического типа, где они в количественном и энергетическом отношении превалируют над очагами, сформировавшимися в условиях сжатия.

Восточночерноморская микроплита. Было зарегистрировано три сильных землетрясения в пределах акватории, два из них произошли в XX веке, их эпицентры приурочены к Восточно-Черноморской магнитной аномалии. Эпицентр третьего, Восточно-Черноморского землетрясения (23.12.2012, $M_{w\text{per}}=6.0$), описание которого приведено в [Габсатарова и др., 2018], располагался в 60 км южнее

г. Сухуми и локализован на границе с северным апофизом Восточно-Черноморской магнитной аномалии.

Закавказская микроплита. В пределах северного фланга Закавказской микроплиты АМП, как отмечалось, имеет сложный характер. Наиболее сейсмоактивными при этом являются высокоплотные блоки консолидированной коры, в их числе Дзирульский и Кутаисский. Следует отметить, что эпицентр одного из сильнейших в пределах Большого Кавказа Рачинского землетрясения (29.04.1991, $M_w = 6.9$, $H=7$ км) приурочен к северной части Дзирульского блока и расположен в пределах локальной положительной магнитной аномалии. Сейсмогенерирующими в этой области являются и разломы, один из самых сейсмоактивных – Они-Шекийский, суб-параллельный Сването-Алазанскому межплитному разлому.

В таблице 1 приведены данные по количеству эпицентров землетрясений с $M \geq 5.0$ в пределах блоков Скифской плиты и изученных частей Восточно-Черноморской и Закавказской плит, попадающих в контуры интенсивных магнитных аномалий и их границ, а также их относительное количество.

Таблица 1 / Table 1

Количество эпицентров землетрясений с $M \geq 5.0$ в контурах интенсивных магнитных аномалий тектонических структур консолидированной коры региона исследований /
The number of earthquakes epicenters with $M \geq 5.0$ in the contours of intense magnetic anomalies of the consolidated crust tectonic structures of the study region

Литосферная плита, блок/ Lithospheric plate, block	Количество землетрясений с $M \geq 5.0$ / Number of earthquakes with $M \geq 5.0$		
	Всего/ Total	В АМП/ In AMP	%
Блоки Скифской плиты:/ Blocks of the Scythian plate	91	59	65
- Зеленчукский/ Zelenchuksky	3	2	67
- Малкинский/ Malkinsky	6	6	100
- Терский/ Tersky	23	18	78
- Верхнетерский/ Verkhnetersky	8	4	50
- Кубачинский/ Kubachinsky	14	6	43
- Среднекаспийский/ Middle-caspian	9	5	56
Восточно-Черноморская плита/ East Black Sea plate	3	3	100
Закавказская плита/ Transcaucasian plate	16	10	62
Всего/ Total	164	108	66

Структура кристаллического фундамента и АМП Восточного Предкавказья

Для Восточного Предкавказья выполнено сопоставление АМП со структурной картой фундамента [Джабраилов и др., 1993], построенной по данным бурения и сейсморазведки МОВ-ОГТ, проведенных в 1970–1980 гг. (рис. 2). Основные тектонические структуры фундамента Восточного Предкавказья – Терско-Каспийский краевой прогиб, Ногайско-Тарумовский сложный вал, Восточно-Манычский и Кизлярский прогибы.

Терско-Каспийский краевой прогиб. Контуры Терско-Каспийского краевого прогиба, южным ограничением которого являются складчато-надвиговые структуры Большого Кавказа, практически совпадают с Нальчик-Махачкалинской региональной положительной магнитной аномалией. Глубина фундамента позднепалеозойского возраста (средний девон–верхний карбон) Терско-Каспийского прогиба изменяется от 6 до 10–12 км, для него в целом характерны пологий северный платформенный борт с наклоном слоев до 10° и крутой, сильно дислоцированный, осложненный разрывами и элементами диапиризма южный складчатый борт [Тектоника ..., 2009].

Как было показано выше, к контурам Нальчик-Махачкалинской региональной магнитной аномалии приурочена значительная часть эпицентров землетрясений (с $M \geq 5.0$), произошедших здесь после 1900 г. Следует также отметить, что к центральной части прогиба приурочена область распространения верхнемантийных землетрясений. В работе [Габсатарова, 2024] выделены 5 центроидов расположения верхнемантийных землетрясений (их контур вынесен на рис. 2), глубины гипоцентров которых увеличиваются от $h=79$ км в южной части, где фундамент залегает максимально глубоко, до $h=146$ км в северной части области.

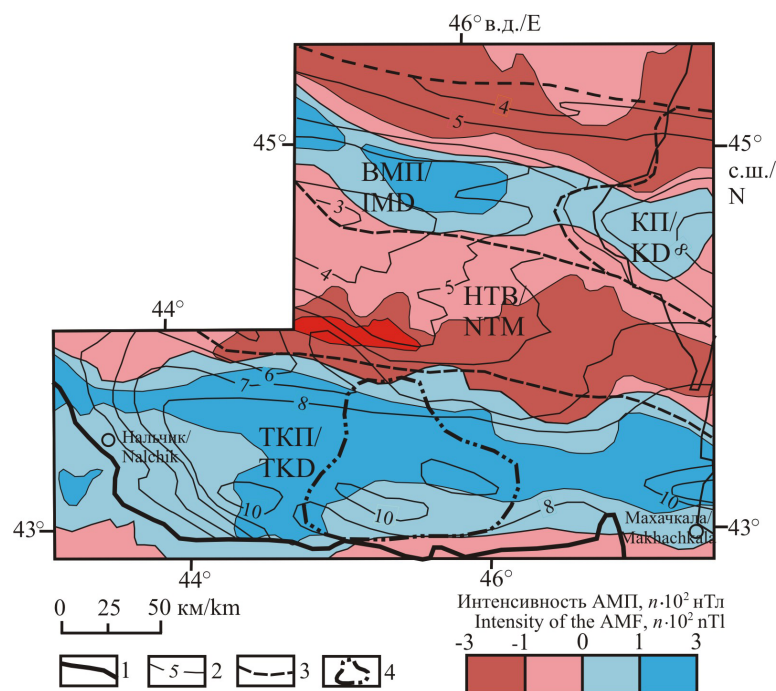


Рис. 2. АМП по [Карта аномального ..., 2000] и контур верхнемантийных землетрясений по [Габсатарова, 2024] на схеме структуры палеозойского фундамента Восточного Предкавказья [Джабраилов и др., 1993]. 1 – северная граница мегантиклинория Большого Кавказа; 2 – изогипсы поверхности фундамента (в км); 3 – границы тектонических структур (ТКП – Терско-Каспийский краевой прогиб, НТВ – Ногайско-Тарумовский сложный вал, ВМП – Восточно-Манычский прогиб, КП – Кизлярский прогиб); 4 – Терско-Сунженский район верхнемантийных землетрясений по [Габсатарова, 2024] /

Fig. 2. AMF according to [Map of anomalous ..., 2000] and the contour of upper mantle earthquakes according to [Gabsatarova, 2024] on the scheme of the structure of the Eastern Ciscaucasia Paleozoic basement Dzhabrailov et al., 1993]. 1 – northern boundary of the Greater Caucasus meganticlinorium; 2 – basement surface isohypses (in km); 3 – boundaries of tectonic structures (TKD – Tersko-Caspian foredeep, NTM – Nogai-Tarumovsky complex swell, IMD – East Manych deflection, KD – Kizlyar deflection; 4 – Tersko-Sunzhensky region of upper mantle earthquakes according to [Gabsatarova, 2024]

Ногайско-Тарумовский сложный вал. Глубина фундамента Ногайско-Тарумовского вала увеличивается в субширотном направлении с 4 до 7 км, а его контуры практически совпадают с областью отрицательных магнитных аномалий.

Восточно-Манычский прогиб. Северной границей прогиба является кряж Карпинского, а в его южной части располагается Восточно-Манычская региональная положительная магнитная аномалия.

Кизлярский прогиб. Глубина фундамента Кизлярского прогиба, расположенного в западной акватории Каспийского моря, составляет 6–8 км, его контурам соответствует восточная часть Восточно-Манычской региональной положительной магнитной аномалии.

Обсуждение результатов

Проведенные исследования показали, что для Большого Кавказа и близлежащих областей 2/3 эпицентров сильных ($M \geq 5.0$) землетрясений, зарегистрированных за период 1900–2022 гг. находятся в пределах контуров интенсивных региональных магнитных аномалий или на их границах. Для метаморфических и магматических пород их магнитные свойства возрастают с повышением основности пород [Физические ..., 1984], в то же время, возрастают и их реологические свойства [Ranalli, 1987], то есть породы становятся более «жесткими». В определенном смысле они становятся «аккумуляторами» тектонических напряжений, которые разряжаются на реологических неоднородностях консолидированной земной коры. Учитывая это, следует ожидать, что используя при моделировании данные о физических (в т.ч. реологических) неоднородностях земной коры, можно повысить эффективность реологического моделирования как основы геодинамических исследований, методика и первые результаты которых для физико-геологических условий Большого Кавказа показаны в [Стогний, Стогний, 2024]. Данная методика может быть применена и для создания геодинамических моделей основных сейсмогенных районов Большого Кавказа, естественно, при увеличении детальности исследований.

Как отмечалось, выделенным в структуре кристаллической коры Восточного Предкавказья прогибам [Джабраилов и др., 1993], Терско-Каспийскому, Восточно-Манычскому и Кизлярскому, соответствуют положительные региональные аномалии магнитного поля, а Ногайско-Тарумовского вала – отрицательные. Это отражает, по-видимому, особенности строения прогибов земной коры, содержащей толщи основных–ультраосновных пород, сформировавшихся в разные эпохи в режиме локального растяжения земной коры, в то время как валы формировались в режиме сжатия. Проведение целенаправленных палеомагнитных исследований, методика которых хорошо известна [Piper, 1987], может дать материал к построению моделей эволюции земной коры данного региона.

Для выявления характера деформационного режима обычно используются данные решений механизмов очагов землетрясений. Для Среднекаспийского региона по данным [Вольфман, Колесникова, 2024] характерны фокальные механизмы очагов взбросового и сбросового и близких к ним в структурно-кинематическом отношении взбросо-сдвигового и сбросо-сдвигового типов, определяющих кинематические обстановки соответственно регионального сжатия и растяжения субмеридионального северо-северо-восточного кавказского направления.

Одним из проблемных является вопрос регионального механизма формирования напряженно-деформированного состояния земной коры. Образование ороге-

на Большого Кавказа в [Гончаров, Разницын, 2014] рассматривается как результат мелкомасштабной конвекции в верхней мантии. По нашему мнению, условия для реализации глубокофокусных землетрясений Терско-Сунженского района формируются за счет флюидного потока ячейки мелкомасштабной конвекции в верхней мантии Терско-Каспийского прогиба. В этих условиях в результате нарушения механического и термического равновесия возникают условия локального растяжения. Так, по данным [Габсатарова, 2024] механизмы очагов верхнемантийных землетрясений с глубинами более 70 км в основном имеют сбросовый тип движения, а для коровых землетрясений преобладает взброс, характерный для условий сжатия. Возможно, что в этом случае сжатие происходит в земной коре при локальном растяжении в верхней мантии.

Таким образом, анализ и синтез материалов по структуре консолидированной земной коры, сейсмичности и АМП региона исследований позволили выявить некоторые общие закономерности и обосновать направления комплексных исследований геодинамических процессов и сейсмичности региона.

Выводы

1. В результате проведенных исследований выполнен анализ потенциальной информативности магнитного поля для разработки структурно-реологических моделей консолидированной земной коры Большого Кавказа и прилегающих территорий, а также его связи с закономерностями проявления сейсмичности.

2. Для Восточного Предкавказья показано, что Терско-Каспийскому, Восточно-Маньчжурскому и Кизлярскому прогибам соответствуют положительные региональные аномалии магнитного поля, а Оросалинская отрицательная аномалия магнитного поля приурочена к Черкесско-Кизлярскому разлому, ограничивающему Терско-Каспийский краевой прогиб с севера. Это может являться основанием для проведения целенаправленных палеомагнитных исследований изучения альпийской геодинамики и ее эволюции во времени.

3. При обосновании геодинамических моделей формирования напряженно-деформированного состояния земной коры южного фланга Скифской плиты и ее эволюции в качестве стартовой может быть принята модель мелкомасштабной конвекции в верхней мантии.

Литература

1. Ананьин И.В. Сейсмичность Северного Кавказа. – М.: Наука, 1977. – 148 с.
2. Вольфман Ю.М., Колесникова Е.Я. Некоторые особенности сейсмотектоники Каспийского региона. // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Т. XIV. – М.: ИИЕТ РАН, 2024. – С. 228–233.
3. Вольфман Ю.М., Колесникова Е.Я., Калинюк И.В. Инверсионный характер кинематических обстановок сейсмогенеза Среднекаспийского региона. // Геология и геофизика Юга России. – 2025. – Т. 15. № 2. – С. 73–86. DOI: 10.46698/VNC.2025.67.30.001.
4. Габсатарова И.П. Сейсмичность в Терско-Каспийском прогибе: триггерные эффекты и механизмы очагов. // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Т. XIV. – М.: ИИЕТ РАН, 2024. – С. 239–244.
5. Габсатарова И.П., Зверева А.С. Сейсмический мониторинг Северного Кавказа в первую четверть XXI века. // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Т. XIII. – М.: ИИЕТ РАН, 2023. – С. 257–264.
6. Габсатарова И.П., Карпович Е.А., Королецки Л.И., Войтова А.С., Каменская

ОЛ. Восточно-Черноморское землетрясение 23 декабря 2012 г. с $KP=14.1$, $Mw_{\text{рег}}=6.0$, $Mw_{\text{GCMT}}=5.8$, $0p=7-8$ (Чёрное море, Абхазия). // Землетрясения Северной Евразии. Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 433–443.

7. Гонгадзе С.А. Глубинное строение Большого Кавказа на основе геофизических данных по новым технологиям. Ч. 1. Гравиметрия, магнитометрия, локальная сейсмо-мография и микросейсмозондирование. // Геофизический журнал. – 2016. – Т. 38. № 3. – С. 145–154.

8. Гончаров М.А., Разницын Ю.Н. Четыре разномасштабных фактора новейшего орогенеза Евразии. // Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различие, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения. Т. 1. – М.: ГЕОС, 2014. – С. 85–89.

9. Горбатилов А.В., Рогожин Е.А., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Андреева Н.В., Передерин Ф.В., Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Дзедоев Б.А., Габараев А.Ф. Особенности глубинного строения и современной тектоники Большого Кавказа в Осетинском секторе по комплексу геофизических данных. // Физика Земли. – 2015. – № 1. – С. 28–39.

10. Джабраилов М.О., Коновалов В.И., Кононов Н.И., Пчелинцев П.Е., Талалаев В.Д. Новые данные о глубинной тектонике Восточного Предкавказья. // Геология нефти и газа. – 1993. – № 1.

11. Карта аномального магнитного поля (Т) России, сопредельных государств (в границах бывшего СССР) и прилегающих акваторий. Масштаб 1 : 5 000 000 / Гл. редактор Т.П. Литвинова. – СПб.: ВСЕГЕИ, – 2000.

12. Лукк А.А., Шевченко В.И. Сейсмичность, тектоника и GPS-геодинамика Кавказа. // Физика Земли. – 2019. – № 4. – С. 99–123.

13. Маммадли Т.Я. Анализ сейсмической активности глубинных разломов с использованием метода определения сейсмогенерирующих зон: оценка зон сейсмической опасности территории Азербайджана. // Геотектоника. – 2022. – № 2. – С. 95–104.

14. Рогожин Е.А., Горбатилов А.В., Степанова М.Ю., Овсяченко А.Н., Андреева Н.В., Харазова Ю.В. Структура и современная геодинамика мегантиклинория Большого Кавказа в свете новых данных о глубинном строении. // Геотектоника. – 2015. – № 2. – С. 36–49.

15. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Лутиков А.И., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Горбатилов А.В. Эндогенные опасности Большого Кавказа. – М.: ИФЗ РАН, 2014. – 256 с.

16. Стогний В.В., Стогний Г.А. Глубинное строение и реологическая стратификация земной коры Центрального сегмента Большого Кавказа. // Геология и геофизика Юга России. – 2024. – Т. 14. № 2. – С. 6–20. DOI: 10.46699/VNC.2024.37.52.001.

17. Стогний В.В., Стогний Г.А., Пономарева Н.Л., Гросс С.С. Структура консолидированной земной коры и сейсмичность Центрального сегмента Большого Кавказа. // Геология и геофизика Юга России. – 2024. – Т. 14. № 4. – С. 54–65. DOI: 10.46698/VNC.2024.52.34.006.

18. Стогний Г.А., Стогний В.В. Южная граница Скифской плиты в системе блоковой делимости консолидированной коры Центрального и Восточного сегментов Большого Кавказа. // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т. 13. № 3. – С. 6–18. DOI: 10.46698/VNC.2023.96.83.001.

19. Тектоника южного обрамления Восточно-Европейской платформы. / Под редакцией В.Е. Хаина, В.И. Попкова. – Краснодар: КубГУ, 2009. – 213 с.

20. Уломов В.И., Данилова Т.И., Медведева Н.С., Полякова Т.П., Шумилина Л.С. К оценке сейсмической опасности на Северном Кавказе. // Физика земли. – 2007. – № 7. – С. 31–45.

21. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика. / Под редакцией Н.Б. Дортман. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 455с.

22. Piper J.D.A. Paleomagnetism and the Continental Crust. – John Wiley, New York, 1987. – 434 p.

23. Ranalli G. Rheology of the Earth. London: Allen and Unwin, 1987. – 336 p.
24. Tibaldi A., Tsereteli N., Varazanashvili O., Babayev G., Barth A., Mumladze T., Bonali F.L., Russo E., Kadirov F., Yetirmishli G., Kazimova S. Active stress field and fault kinematics of the Greater Caucasus. // *Journal of Asian Earth Sciences*. – 2020. – Vol. 188. – pp. 1–18.
25. Tseng T.-L., Hsu H.-C., Jian P.-R., Huang B.-S., Hu J.-C., Chung S.-L. Focal mechanisms and stress variations in the Caucasus and Northeast Turkey from constraints of regional waveforms. // *Tectonophysics*. – 2016. – Vol. 691. – pp. 362–374.

References

1. Ananyin I.V. Seismicity of the North Caucasus. Moscow. Nauka. 1977. 148 p. (In Russ.)
2. Volfman Yu.M., Kolesnikova E.Ya. Some features of seismotectonics of the Caspian region. In: *Modern Problems of Geology, Geophysics and Geoecology of the North Caucasus*. Vol. XIV. Moscow. IIET RAS. 2024. pp. 228–233. (In Russ.)
3. Volfman Yu.M., Kolesnikova E.Ya., Kalinyuk I.V. Inversion nature of kinematic settings of seismogenesis in the Middle Caspian region. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2025. Vol. 15. No. 2. pp. 73–86. DOI: 10.46698/VNC.2025.67.30.001. (In Russ.)
4. Gabsatarova I.P. Seismicity in the Terek-Caspian Trough: Trigger effects and focal mechanisms. In: *Modern Problems of Geology, Geophysics and Geoecology of the North Caucasus* Vol. XIV. Moscow. IIET RAS. 2024. pp. 239–244. (In Russ.)
5. Gabsatarova I.P., Zvereva A.S. Seismic monitoring of the North Caucasus in the first quarter of the 21st century. In: *Modern Problems of Geology, Geophysics and Geoecology of the North Caucasus*. Vol. XIII. Moscow. IIET RAS. 2023. pp. 257–264. (In Russ.)
6. Gabsatarova I.P., Karpovich E.A., Koroletsky L.I., Voitova A.S., Kamenskaya O.L. East Black Sea earthquake on December 23, 2012 with $KR=14.1$, $M_{w_{per}}=6.0$, $M_{w_{GCMT}}=5.8$, $0p=7-8$ (Black Sea, Abkhazia). *Earthquakes of Northern Eurasia*. Issue 21 (2012). Obninsk. FRC GS RAS. 2018. pp. 433–443. (In Russ.)
7. Gongadze S.A. Deep structure of the Greater Caucasus based on geophysical data using new technologies. Part 1. Gravimetry, magnetometry, local seismic tomography and microseismic sounding. *Geophysical Journal*. 2016. Vol. 38. No. 3. pp. 145–154. (In Russ.)
8. Goncharov M.A., Raznitsyn Yu.N. Four different-scale factors of the latest orogenesis of Eurasia. *Tectonics of the folded belts of Eurasia: similarities, differences, characteristic features of the latest mountain building, regional generalizations*. Vol. 1. Moscow. GEOS. 2014. pp. 85–89. (In Russ.)
9. Gorbatiykov A.V., Rogozhin E.A., Stepanova M.Yu., Kharazova Yu.V., Andreeva N.V., Perederin F.V., Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Dzeranov B.V., Dzeboev B.A., Gabaraev A.F. Features of the deep structure and modern tectonics of the Greater Caucasus in the Ossetian sector based on a complex of geophysical data. *Physics of the Earth*. 2015. No. 1. pp. 28–39. (In Russ.)
10. Dzhabrailov M.O., Konovalov V.I., Kononov N.I., Pchelintsev P.E., Talalaev V.D. New data on the deep tectonics of the Eastern Ciscaucasia. *Geology of Oil and Gas*. 1993. No. 1. (In Russ.)
11. Map of the anomalous magnetic field (T) of Russia, adjacent states (within the borders of the former USSR) and adjacent waters. Scale 1: 5,000,000. Ed. T.P. Litvinova. Saint Petersburg. VSEGEI. 2000.
12. Lukk A.A., Shevchenko V.I. Seismicity, tectonics and GPS geodynamics of the Caucasus. *Physics of the Earth*. 2019. No. 4. pp. 99–123. (In Russ.)
13. Mammadli T.Ya. Analysis of seismic activity of deep faults using the method of determining seismogenic zones: assessment of seismic hazard zones of the territory of Azerbaijan. *Geotectonics*. 2022. No. 2. pp. 95–104. (In Russ.)
14. Rogozhin E.A., Gorbatiykov A.V., Stepanova M.Yu., Ovsyuchenko A.N., Andreeva N.V., Kharazova Yu.V. Structure and modern geodynamics of the meganticlinorium of the Greater Caucasus in the light of new data on the deep structure. *Geotectonics*. 2015. No. 2. pp. 36–49. (In Russ.)

15. Rogozhin E.A., Ovsyuchenko A.N., Lutikov A.I., Sobisevich A.L., Sobisevich L.E., Gorbatiykov A.V. Endogenous hazards of the Greater Caucasus. Moscow. IPE RAS. 2014. 256 p. (In Russ.)
16. Stogny V.V., Stogny G.A. Deep structure and rheological stratification of the Earth's crust of the Central segment of the Greater Caucasus. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2024. Vol. 14. No. 2. pp. 6–20. DOI: 10.46699/VNC.2024.37.52.001. (In Russ.)
17. Stogny V.V., Stogny G.A., Ponomareva N.L., Gross S.S. Structure of Earth's consolidated crust and seismicity of the Greater Caucasus Central segment. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2024. Vol. 14. No. 4. pp. 54–65. DOI: 10.46698/VNC.2024.52.34.006 (In Russ.)
18. Stogny G.A., Stogny V.V. The Scythian plate southern boundary in the system of block divisibility consolidated crust of the Greater Caucasus Central and Eastern segments. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023. Vol. 13. No. 3. pp. 6–18. DOI: 10.46698/VNC.2023.96.83/001. (In Russ.)
19. Tectonics of the southern framing of the East European platform. Eds. V.E. Khain, V.I. Popkov. Krasnodar. Kuban State University. 2009. 213 p. (In Russ.)
20. Ulomov V.I., Danilova T.I., Medvedeva N.S., Polyakova T.P., Shumilina L.S. On the assessment of seismic hazard in the North Caucasus. *Physics of the Earth*. 2007. No. 7. pp. 31–45. (In Russ.)
21. Physical properties of rocks and minerals (petrophysics). *Geophysics Handbook*. Ed. N.B. Dortman. 2nd ed. revised and enlarged. Moscow. Nedra. 1984. 455 p. (In Russ.)
22. Piper J.D.A. *Paleomagnetism and the Continental Crust*. John Wiley. New York. 1987. 434 p.
23. Ranalli G. *Rheology of the Earth*. London. Allen and Unwin. 1987. 336 p.
24. Tibaldi A., Tsereteli N., Varazanashvili O., Babayev G., Barth A., Mumladze T., Bonali F.L., Russo E., Kadirov F., Yetirmishli G., Kazimova S. Active stress field and fault kinematics of the Greater Caucasus. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2020. Vol. 188. pp. 1–18.
25. Tseng T.-L., Hsu H.-C., Jian P.-R., Huang B.-S., Hu J.-C., Chung S.-L. Focal mechanisms and stress variations in the Caucasus and Northeast Turkey from constraints of regional waveforms. *Tectonophysics*. 2016. Vol. 691. pp. 362–374.