



## ГЕОЛОГИЯ

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 22, вып. 4. С. 262–267

*Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2022, vol. 22, iss. 4, pp. 262–267

<https://geo.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-4-262-267>, EDN: FHAQPE

Научная статья

УДК 550.831:550.838:551.243

### К вопросу о геологической природе неоднородностей кристаллического фундамента Восточно-Европейской платформы

В. А. Огаджанов<sup>✉</sup>, Е. Н. Волкова

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Огаджанов Виктор Александрович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, [ozhva@mail.ru](mailto:ozhva@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2645-4110>

Волкова Елена Николаевна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий кафедрой геофизики, [volkovaen@info.sgu.ru](mailto:volkovaen@info.sgu.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7620-3440>

**Аннотация.** На основе анализа гравитационных и магнитных аномалий восточной части Восточно-Европейской платформы делается вывод о присутствии в земной коре неоднородностей, обусловленных процессами серпентинизации. Этот вывод подтверждается проведением геолого-геофизических исследований на эталонных объектах с выходами серпентинитов.

**Ключевые слова:** гравитационные аномалии, магнитные аномалии, магнитные свойства горных пород, плотность, серпентинизация

**Для цитирования:** Огаджанов В. А., Волкова Е. Н. К вопросу о геологической природе неоднородностей кристаллического фундамента Восточно-Европейской платформы // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 22, вып. 4. С. 262–267. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-4-262-267>, EDN: FHAQPE

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

**On the question of the geological nature of the crystalline basement inhomogeneities of the East European Platform**

V. A. Ogadzhyanov<sup>✉</sup>, E. N. Volkova

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Viktor A. Ogadzhyanov, [ozhva@mail.ru](mailto:ozhva@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2645-4110>

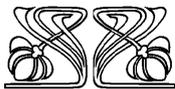
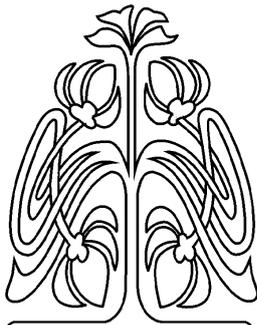
Elena N. Volkova, [volkovaen@info.sgu.ru](mailto:volkovaen@info.sgu.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7620-3440>

**Abstract.** Based on the analysis of gravitational and magnetic anomalies of the eastern part of the East European Platform, it is concluded that inhomogeneities caused by serpentinization processes are present in the Earth's crust. This conclusion is confirmed by conducting geological and geophysical studies on reference objects with serpentinite outcrops.

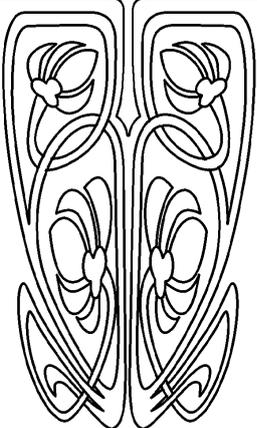
**Keywords:** gravitational anomalies, magnetic anomalies, magnetic properties of rocks, density, serpentinization

**For citation:** Ogadzhyanov V. A., Volkova E. N. On the question of the geological nature of the crystalline basement inhomogeneities of the East European Platform. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2022, vol. 22, iss. 4, pp. 262–267 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-4-262-267>, EDN: FHAQPE

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ





## Введение

Один из наиболее сложных и важных вопросов глубинного строения древних платформ – геологическая природа их неоднородностей.

Во многом сведения о геологической природе структурно-вещественных неоднородностей можно получить на основе комплексного анализа геофизических данных. Гравитационные и магнитные аномалии отражают наиболее важные особенности неоднородностей земной коры. Поэтому необходимым этапом анализа данных региональных геофизических исследований является интерпретация магнитного и гравитационного полей.

На востоке Восточно-Европейской платформы в составе фундамента широко распространены основные интрузивные породы, которые вскрыты многими скважинами, как правило, в зонах больших разломов. Эти породы обычно представлены типичными габбро и габбро-норитами, которые тесно ассоциируются с парагнейсовым комплексом [1]. Такие интрузивные массивы, имея высокие значения плотности и намагниченности, зачастую отражаются совпадением положительных аномалий гравитационного и магнитного полей.

На основании изучения физических свойств горных пород востока Восточно-Европейской платформы и ее обрамления (Волго-Уральской антеклизы, Воронежского кристаллического массива, Кавказа, Урала) были определены основные аномалиеобразующие породы кристаллического фундамента [2].

Посредством комплексного анализа гравитационных и магнитных полей востока Восточно-Европейской платформы выявлены аномалии, которые объясняются неоднородностями кристаллической коры, обладающими низкими значениями плотности и высокими значениями намагниченности.

Вопрос о геологической природе низкоплотных и высокомагнитных неоднородностей ранее рассматривался; в связи с этим был сделан вывод о том, что подобные комплексы земной коры в наибольшей степени могут соответствовать серпентинизированным образованиям [2, 3].

Интерпретация аномалий потенциальных полей по региональным профилям на ряде участков востока Восточно-Европейской платформы позволила выделить парагенетически связанные гравитационные и магнитные аномалии, когда гравитационные минимумы в редукции Буге ( $\Delta g_B$ ) соответствуют магнитным максимумам ( $\Delta T$ ) [2, 3].

Заключение о правомерности выводов о связи гравитационных минимумов и магнитных максимумов с неоднородностями земной коры, обусловленных серпентинизацией, можно сделать на основе геолого-геофизических исследований, выполненных на эталонных объектах

с выходами серпентинитов и известной физико-геологической характеристикой.

## Методика исследований

Проведены анализ и обобщение данных о плотностях и магнитных свойствах горных пород по литературным и фондовым материалам. Физические свойства серпентинитов и других горных пород, слагающих кристаллическую кору, исследованы по материалам глубокого бурения на Волго-Уральской антеклизе, Воронежском кристаллическом массиве (ВКМ), а также в районах складчатых сооружений Кавказа и Урала.

Для складчатого сооружения Урала в кислых и средних породах плотность изменяется от  $2,57 \cdot 10^3$  до  $2,83 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Породы представлены гранитами, гранодиоритами и сиенитами. Среди ультраосновных пород дунит серпентинизированный имеет среднюю плотность  $3,02 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, а перидотит пироксеновый –  $3,12 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Из метаморфических пород минимальными значениями плотности отличается серпентинит –  $2,66 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, а максимальными – эклогит со значениями  $2,82$ – $3,35 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. В состав ультраосновных пород входит перидотит серпентинизированный с плотностью  $2,77 \times 10^3$  –  $3,05 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, пироксенит с плотностью  $3,2 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> и пироксенит амфиболовый –  $3,25 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Метаморфические породы включают сланцы, серпентиниты, мигматиты, амфиболиты и плагиогнейсы. Высокую плотность имеет амфиболит –  $2,92 \cdot 10^3$  –  $3,01 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, серпентинит антигоритовый –  $2,81 \cdot 10^3$  –  $2,83 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, сланец хлорит-серицит-кварцевый –  $2,77 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, сиенит –  $2,71 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Меньше, от  $2,62 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> до  $2,67 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, плотность у мигматита-биотита амфиболового, мигматита, плагиогнейса и сланца биотит-кварцевого.

Для серпентинита апоперидотитового ВКМ плотность составляет  $2,60 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Диапазон изменения плотности пород метаморфического комплекса пород Волго-Уральской антеклизы, представленный гнейсами и кристаллосланцами, варьирует в диапазоне  $2,61$ – $3,14 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup> при величинах магнитной восприимчивости  $290$ – $1420 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ.

Минимальные значения плотности характерны для серпентинитов Кавказа  $2,29 \cdot 10^3$ – $2,44 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Магнитная восприимчивость интрузивных пород разного состава изменяется в зависимости от среднего содержания в них магнетита, которое увеличивается от 0 до определенного процента, повышающегося от кислых пород к ультраосновным.

Для гранитов Кавказа магнитная восприимчивость составляет  $8 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, сиенитов – Урала  $1300 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. Максимальными значениями магнитной восприимчивости (до  $10000 \times$



$\times 10^{-5}$  ед. СИ) характеризуются габбро-нориты, выявленные на Волго-Уральской антеклизе.

Ультраосновные породы характеризуются наиболее широким диапазоном изменения магнитной восприимчивости – от слабо – ( $460 \times 10^{-5}$  ед. СИ) до сильномагнитных ( $10000 \times 10^{-5}$  ед. СИ).

Серпентиниты являются магнитными и сильномагнитными породами. Так, например, величина магнитной восприимчивости серпентинитов Кавказа достигает  $3000 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ.

Сведения о главных аномалиеобразующих комплексах кристаллического фундамента территории востока Восточно-Европейской платформы приведены в табл. 1 [3].

Из анализа физических свойств горных пород, слагающих кристаллическую кору востока Восточно-Европейской платформы и его обрамления, видно, что наиболее низкими значениями плотности характеризуются граниты и серпентинизированные разности пород. Однако у серпентинитов при малых значениях плотности значения магнитной восприимчивости существенно выше, чем у гранитов. Согласно данным [4], при плотности  $2,44 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> магнитная восприимчивость серпентинитов может достигать  $3000 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. Это дает основание полагать, что наиболее интенсивные минимумы аномалий гравитационного поля и максимумы аномалий магнитного поля должны соответствовать блокам серпентинизированных пород.

Выводы о соответствии гравитационных минимумов и магнитных максимумов низкоплотным и высокомагнитным неоднородностям земной коры востока Восточно-Европейской платформы подтверждаются интерпретацией аномалий потенциальных полей по региональным профилям.

При интерпретации в качестве граничных условий задавались значения плотности и магнитных свойств горных пород, определенные

по материалам, доступным в справочной литературе (например, [4, 5, 6] и др.), а также глубины границ раздела земной коры, выделенные по данным сейсморазведки.

Качественная интерпретация основывалась на исследовании амплитуд и морфологии гравитационных и магнитных аномалий и их совместном анализе. Количественная интерпретация потенциальных полей заключалась в определении физических свойств и структуры комплексов пород кристаллического фундамента по профилям длиной не менее 200–300 км.

Проверка гипотезы о соответствии гравитационных минимумов и магнитных максимумов неоднородностям земной коры, обусловленным серпентинизированными горными породами, проведена на эталонных объектах с выходами серпентинитов в районе Даховского кристаллического массива Западного Кавказа.

Для соблюдения условий подобия эталонного объекта серпентинизированному образованию в метаморфизованном фундаменте древних платформ, в пределах Даховского кристаллического массива выбран участок выхода серпентинитов, внедренных по разлому в толщу метаморфического комплекса, представленного амфиболитами, роговиками, мигматитами (табл. 2).

Были отобраны образцы горных пород с различных участков эталонного объекта. На основе петрографического и петрофизического анализа этих образцов, проведенных в СГУ им. Н. Г. Чернышевского, составлена петрофизическая модель эталонного объекта (табл. 2).

Данная петрофизическая модель иллюстрирует тот факт, что из всех породообразующих пород кристаллического массива на эталонном объекте только серпентиниты обладают наиболее низкими значениями плотности, сохраняя при этом высокие значения магнитной восприимчивости.

Таблица 1

**Физические свойства главных аномалиеобразующих пород кристаллического фундамента востока Восточно-Европейской платформы**

Название пород и их комплексов	Плотность, $10^3$ кг/м <sup>3</sup>	Магнитная восприимчивость, $10^{-5}$ ед. СИ
Биотито-гранатовые, биотитопироксеновые, биотитороговообманковые, биотитоплагноклазовые гнейсы и кристаллосланцы	2,70–2,90 (2,80)	300–1400 (850)
Граниты и плагиограниты с гранатом	2,57–3,00 (2,80)	8–200 (100)
Сиениты	2,71	1300
Габбро-нориты и габбро-диабазы	2,70–3,00 (2,85)	5000–10000 (7500)
Серпентиниты	2,38–2,83 (2,60)	600–3000 (1800)

Примечания. В скобках показаны средние значения физических параметров.



Таблица 2

**Физические свойства горных пород эталонного объекта в районе Даховского кристаллического массива**

Номер образца	Плотность, $10^3 \text{ кг/м}^3$	Магнитная восприимчивость, $10^{-5}$ ед. СИ	Название породы
1	2,44	3000	Серпентинит
2	2,52	500–600	Серпентинит
3	2,29	2000–3000	Серпентинит
4	2,64	90–88	Амфиболит полевошпатовый
5	3,02	55	Амфиболит
6	2,79	4800–5000	Амфибол плагиоклазовый – роговик
7	2,79	4800–5000	Мигматит
8	2,66	270	Роговик
9	2,61	4	Пегматит

По профилю длиной примерно 170 м, пересекающему участок выхода серпентинитов на эталонном объекте, были проведены измерения гравитационного и магнитного полей с шагом 10 м. После обработки данных гравиметрической и магнитной съемок над выходами серпентинитов локализовались минимум гравитационного и максимум магнитного полей (рис. 1).

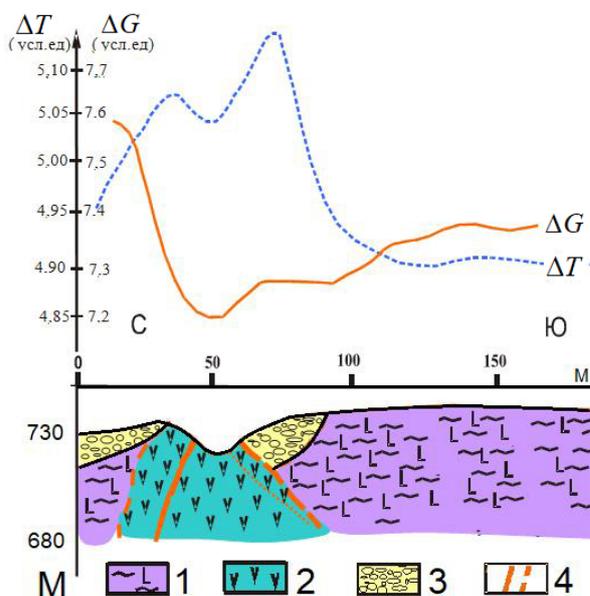


Рис. 1. Физико-геологическая модель эталонного объекта с выходами серпентинитов (составлена по данным В. В. Тимофеева и [3]: 1 – метаморфические породы, 2 – серпентиниты, 3 – галечник, 4 – дизъюнктивные дислокации (цвет online)

**Результаты исследований**

По результатам интерпретации гравитационных аномалий в кристаллической коре и мантии ряда участков востока Восточно-Европейской платформы установлено, что на фоне нормально

уплотненных пород кристаллического фундамента метаморфического состава с плотностью  $2,70\text{--}3,00 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  в нем присутствуют низкоплотные неоднородности, плотность которых составляет  $2,55\text{--}2,65 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  (рис. 2). В пределах Восточно-Европейской платформы выявлены регионально выраженные слои разуплотненных комплексов. Поверхность разуплотненных слоев в верхней части земной коры варьирует в среднем диапазоне глубин 5–9 км.

Сопоставление с данными магнитных съемок показывает, что в ряде случаев меньшим глубинам поверхности разуплотненных слоев, определенным по данным гравиразведки, соответствуют максимумы аномалий магнитного поля, а большим глубинам разуплотненных слоев соответственно минимальные значения аномалий магнитного поля (рис. 2).

Был проведен расчет коэффициента корреляции между глубинами поверхности разуплотненного слоя, определенного по данным гравиразведки и значениями магнитного поля по профилю, приведенному на рис. 2 [2].

Величина коэффициента корреляции между указанными параметрами, равная  $-0,69$ , свидетельствует о тесной связи магнитных аномалий с разуплотненными комплексами пород. Таким образом, очевидна обратная зависимость между глубиной разуплотненных слоев верхней части земной коры, определенной по данным интерпретации гравитационных аномалий и магнитным полем, откуда следует, что разуплотненные комплексы являются магнитоактивными.

Изложенным выше подтверждается вывод о наличии низкоплотных и высокомагнитных комплексов пород в земной коре востока Восточно-Европейской платформы, связанных с серпентинизацией горных пород [2].

Таким образом, по материалам проведенных исследований были выработаны критерии, определяющие физико-геологическую модель неоднородности, обусловленной серпентинизирован-

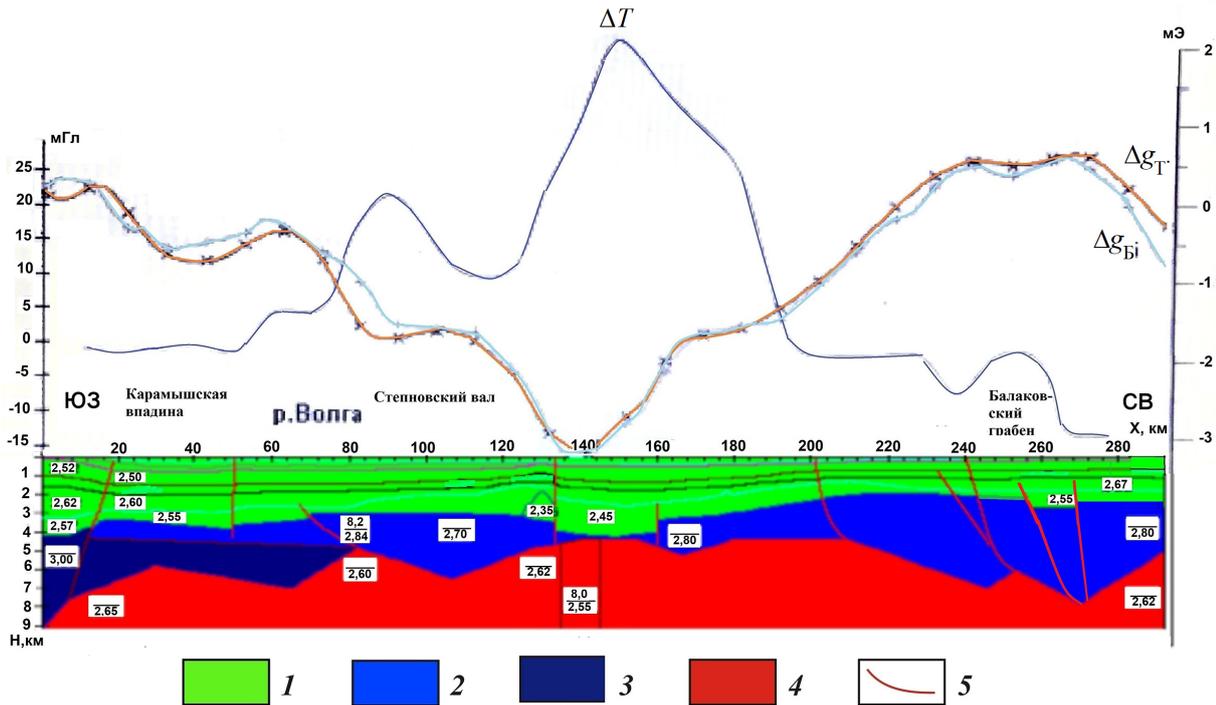


Рис. 2. Геолого-геофизический профиль верхней части земной коры Восточно-Европейской платформы на территории Нижнего Поволжья: 1 – осадочная толща; породы кристаллического фундамента: 2 – нормально уплотненные, 3 – переуплотненные, 4 – разуплотненные; 5 – разломы.  $\Delta T$  – кривая магнитного поля,  $\Delta g_B$  – кривая гравитационного поля в редукции Буге,  $\Delta g_T$  – кривая гравитационного поля, рассчитанная от модели. На модели показаны значения скоростей сейсмических волн в числителе и плотностей в знаменателе (цвет online)

ными образованиями в земной коре древних платформ.

Отличительными особенностями серпентинизированной неоднородности являются аномально низкие величины плотности (до  $2,30 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$ ) и аномально высокие величины магнитной восприимчивости (до  $3000 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ). На фоне высоких значений плотности и низких значений магнитной восприимчивости горных пород преимущественно метаморфического состава, слагающих кристаллический фундамент древних платформ, серпентинизированные неоднородности могут обусловить достаточно интенсивные минимумы гравитационного и максимумы магнитного полей.

### Заключение

Выявление зон серпентинизации имеет большое значение при решении ряда фундаментальных и прикладных геологических задач. Среди основных задач следует выделить такие, как прогнозирование зон возникновения очагов землетрясений и поиски полезных ископаемых [1, 2, 3].

В работах [1, 2, 3] показана эффективность анализа потенциальных полей при изучении вещественных неоднородностей кристаллического фундамента древних платформ, а также сде-

лан вывод о возможной связи гравитационных и магнитных аномалий Восточно-Европейской платформы с серпентинизированными образованиями и зонами геодинамической активности [7, 8].

В части поисков полезных ископаемых следует отметить, что некоторые геологические объекты, например алмазонасные кимберлитовые трубки, будучи связанными с корово-мантийными структурами древних платформ, образовались при метаморфизме горных пород; они характеризуются низкими значениями плотности при сохранении высоких значений намагниченности и отображаются отрицательными аномалиями гравитационного поля и положительными аномалиями магнитного.

Следует обратить внимание на ряд работ, указывающих на непосредственную роль серпентинизации в образовании и формировании скоплений углеводородов; подобные исследования ранее были проведены применительно к Западно-Сибирской молодой платформе [9, 10]. Отсюда становится очевидным интерес к исследованиям по выявлению зон развития серпентинизированных образований, для платформенных территорий в целом.

Тем самым обосновывается актуальность исследований, касающихся связи зон вероятной серпентинизации с аномалиями геофизических



полей, выработки критериев и разработки методов прогноза объектов, связанных с серпентинизацией применительно к решению задач прогноза нефтегазоносности в пределах древних платформ.

#### Библиографический список

1. Гафаров Р. А. Сравнительная тектоника фундамента и типы магнитных полей древних платформ (Восточно-Европейской, Сибирской и Северо-Американской). Москва : Наука, 1976. 270 с.
2. Огаджанов А. В. О возможной природе зон разуплотнения в земной коре Саратовского участка Поволжья // Недра Поволжья и Прикаспия. 2004. Вып. 40. С. 59–61.
3. Огаджанов В. А., Огаджанов А. В. Аномалии геофизических полей при дилатации горных пород // Геофизика. 2013. № 6. С. 65–69.
4. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых : справочник геофизика / под редакцией Н. Б. Дортман. Москва : Недра, 1984. 455 с.
5. Геофизические и геохимические исследования глубинных зон земной коры. Москва : Недра, 1983. 177 с.
6. Физические свойства осадочного покрова территории СССР: справочник / под редакцией М. Л. Озерской и Н. В. Подобы. Москва : Недра, 1967. 772 с.
7. Огаджанов А. В. Физико-геологические модели сейсмогенерирующих неоднородностей земной коры Среднего и Нижнего Поволжья : автореферат диссертации ... кандидата геолого-минералогических наук. Саратов, 2007. 16 с.
8. Огаджанов В. А., Огаджанов А. В. К вопросу о возникновении очагов землетрясений при дилатации горных пород // Геофизика. 2016. № 3. С. 34–39.
9. Разницын Ю. Н., Гогоненков Г. Н., Загоровский Ю. А., Трофимов В. А., Федонкин М. А. Серпентинизация мантийных перидотитов как основной источник глубинных углеводородов Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2020. № 1, вып. 45. С. 66–88.
10. Цепляева А. И. Моделирование залежей нефти в коллекторах палеозойского фундамента на основе комплексов геолого-геофизических и промысловых данных (на примере одного из месторождений Краснотуркменского свода) : диссертация ... кандидата геолого-минералогических наук. Тюмень, 2018. 142 с.

Поступила в редакцию 16.06.2022; одобрена после рецензирования 15.07.2022; принята к публикации 01.09.2022  
The article was submitted 16.06.2022; approved after reviewing 15.07.2022; accepted for publication 01.09.2022