



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-73-79>
УДК 550.8+551.242.1



ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ СЪЕМОК, ВЫПОЛНЕННЫХ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ: ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Н.А. КАСЬЯНОВА

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Геодинамический подход широко используется при проведении региональных прогнозно-поисковых работ и способствует повышению их эффективности, но для локального прогноза и поисков твердых полезных ископаемых его применение ограничено и даже невозможно. Одной из ключевых проблем локального прогноза и поисков полезных ископаемых (твердых, жидких, газообразных) является наличие нестандартных (мерцающих) геофизических аномалий, что затрудняет интерпретацию результатов геофизических съемок, выполненных в разное время на разных стадиях геолого-разведочных работ. Статья посвящена выяснению возможности использования геодинамических исследований при локальном прогнозе и поисках твердых полезных ископаемых на основе привлечения новейших научных знаний из области изучения пространственно-временных закономерностей развития современных геодинамических процессов и их влияния на земные геофизические поля.

Цель. Повышение достоверности результатов интерпретации данных геофизических съемок, выполненных для локального прогноза и поисков месторождений твердых полезных ископаемых.

Материалы и методы. Исследования проведены на основе комплексного анализа литературных данных, фондовых материалов и результатов многолетних собственных исследований автора в областях современной геодинамики и поисково-разведочной геодинамики. Основу исходных данных составили данные мониторинга различных земных геофизических полей (деформационного, сейсмического, приземного магнитного).

Результаты. Установлена геодинамическая причина возникновения мерцающих аномалий в земных геофизических полях (в частности, магнитном) и предложен механизм их формирования под влиянием современных геодинамических процессов. Расширена возможность использования геодинамического подхода при поисках твердых полезных ископаемых и предложены пути повышения эффективности локальных поисков.

Заключение. Проведенные исследования показали возможность использования геодинамических исследований при локальных поисках твердых полезных ископаемых, что будет способствовать повышению достоверности результатов интерпретации данных геофизических съемок и в итоге общему снижению финансовых затрат и сокращению времени на поиски месторождений полезных ископаемых.

Ключевые слова: полезные ископаемые, прогноз и поиски, нестандартные (мерцающие) геофизические аномалии, современные геодинамические процессы

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Касьянова Н.А. Пути повышения достоверности интерпретации результатов геофизических съемок, выполненных для локального прогноза и поисков твердых полезных ископаемых: геодинамический подход. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(4):73—79. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-73-79>

Статья поступила в редакцию 25.02.2021
Принята к публикации 28.05.2021
Опубликована 31.05.2021

WAYS TO IMPROVE THE RELIABILITY OF INTERPRETING THE RESULTS OF GEOPHYSICAL SURVEYS PERFORMED FOR THE LOCAL FORECAST AND PROSPECTING FOR SOLID MINERALS: A GEODYNAMIC APPROACH

NATALIA A. KASYANOVA

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

ABSTRACT

Background. The geodynamic approach is effectively used in regional forecasting and prospecting works. However, its application for local forecasting and prospecting for solid minerals is limited and sometimes impossible. One of the key problems of local forecasting and prospecting for minerals (solid, liquid, gaseous) is the presence of non-standard (flickering) geophysical anomalies, which complicates the interpretation of the results of geophysical surveys performed at different times at different stages of geological exploration. The article is devoted to clarifying the possibility of using geodynamic research in local forecasting and prospecting for solid minerals on the basis of attracting the latest scientific knowledge from the field of studying the spatio-temporal patterns of the development of modern geodynamic processes and their influence on the Earth's geophysical fields.

Aim. To increase the reliability of interpreting the results of geophysical surveys performed for local forecasting and prospecting for solid minerals.

Materials and methods. The research was carried out on the basis of a comprehensive analysis of literature data, fund materials and the results of many years of the author's own research in the fields of modern geodynamics and prospecting and exploration geodynamics. The initial data were based on the monitoring data of various Earth's geophysical fields (deformation, seismic, and surface magnetic).

Results. A geodynamic reason for the appearance of flickering anomalies in the Earth's geophysical fields (in particular, magnetic) has been established, and a mechanism for their formation under the influence of modern geodynamic processes has been proposed. The possibility of using the geodynamic approach in the prospecting for solid minerals has been expanded, and ways to increasing the efficiency of local searches have been proposed.

Conclusions. The research demonstrates the possibility of using geodynamic studies in local prospecting for solid minerals, which helps to increase the reliability of the results of interpretation of geophysical survey data, and, as a result, to reduce the overall financial and time costs involved with searching for mineral deposits.

Keywords: minerals, forecast and prospecting, non-standard (flickering) geophysical anomalies, modern geodynamic processes

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Kasyanova N.A. Ways to improve the reliability of interpreting the results of geophysical surveys performed for the local forecast and prospecting for solid minerals: a geodynamic approach. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(4):73—79. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-73-79>

*Manuscript received 25 February 2021
Accepted 28 May 2021
Published 31 May 2021*

Геодинамический подход широко используется при проведении региональных прогнозно-поисковых работ на твердые полезные ископаемые, что способствует повышению их эффективности. При этом его применение для локального прогноза и поисков твердых полезных ископаемых ограничено и даже невозможно. Это связано с тем, что прогнозные локальные объекты (рудное тело, узел и т.д.) находятся в пределах одной тектонической и геодинамической зоны, одной геологической и рудной формации, что затрудняет выполнение на небольших по площади территориях прогнозно-минералогического районирования [6].

Вместе с тем знания об особенностях геодинамического развития исследуемой территории могут быть весьма полезными при интерпретации результатов геофизических съемок. В частности, одной из ключевых проблем локального прогноза и поисков твердых полезных ископаемых является наличие нестандартных («мерцающих») геофизических аномалий (периодически возникающих и исчезающих в пределах одних и тех же участков), что, естественно, затрудняет интерпретацию результатов геофизических съемок, выполненных в разное время на разных стадиях прогнозно-поисковых работ.

Следует отметить, что в современной нефтегазовой прогнозно-поисковой практике подобная проблема хотя и не обозначена (геофизические съемочные работы проводят, как правило, одноразово), но не исчезла. Явление «мерцающих» аномалий геофизических полей имеет место и для территорий месторождений углеводородов, что давно установлено на специализированных полигонах, совмещенных с нефтегазоносными зонами, где проводились комплексные геофизические исследования (магнито-, грави-, электрометрические, геодинамические) в мониторинговом режиме [2, 4, 7].

Данная статья посвящена изучению нестандартных геофизических аномалий (на примере магнитных аномалий) для использования при интерпретации результатов геофизических съемок, выполненных для локального прогноза и поисков твердых полезных ископаемых.

Результаты

Пространственно-временная связь между возникновением «мерцающих» аномалий в геофизических полях и аномальными проявлениями современных геодинамических процессов (сейсмических, асейсмических)

Периодическое возникновение геофизических аномалий в пределах одних локальных участков

указывает их природное происхождение. Остается выяснить: какие процессы, происходящие в геологической среде, могут оказать подобное влияние на изменение земных физических полей? Очевиден только один вариант: тектонические процессы, которые способны решающим образом повлиять на развитие всех земных физических полей и флюидодинамических систем, и их аномальные проявления локализованы по площади и во времени [5].

Ниже приведены примеры пространственно-временной связи между периодическим возникновением аномальных изменений в геофизических полях и формированием современных геодинамических аномалий: сейсмических (1) и асейсмических (2).

(1) Эффект возникновения магнитных аномалий, связанных с землетрясениями, давно привлекает внимание многих исследователей [1, 3, 8], и научно-практический интерес к нему с годами заметно увеличивается. Появились публикации, в которых достаточно подробно описаны пространственно-временные особенности аномального локализованного изменения магнитного поля в связи с процессами, предшествующими землетрясениям [3], а землетрясения рассматриваются как источник магнитогравитационных волн [1].

В частности, в работе [3] подробно описаны вариации магнитного поля Земли в связи с землетрясениями (на примере сильнейшего землетрясения с магнитудой 9, происшедшего 11.03.2011 на восточном побережье Японии). По результатам анализа данных ближайшей расположенной здесь станции Есаши установлено, что:

- вековые изменения компонентов магнитного поля Земли (в течение десятков и сотен лет) происходят достаточно плавно, однако на этом фоне в суточных вариациях магнитного поля уверенно проявляется цикличность (рис. 1). За наблюдаемый период 2000—2011 гг. зафиксированы четыре магнитные аномалии продолжительностью от 0,5 года до 3 лет. Последняя магнитная аномалия (перед землетрясением 11.03.2011) была самой сильной и проявлялась около 3 лет;

- формирование магнитных аномалий предшествует землетрясениям, однако непосредственно перед землетрясением все эти аномалии практически затухают.

(2) Изучению возникновения магнитных аномалий под влиянием медленных тектонических процессов (асейсмических) посвящены публикации [2, 4, 7]. В частности, анализ данных комплексных повторных высокоточных геодезических измерений и измерений геофизических полей (магнито-,

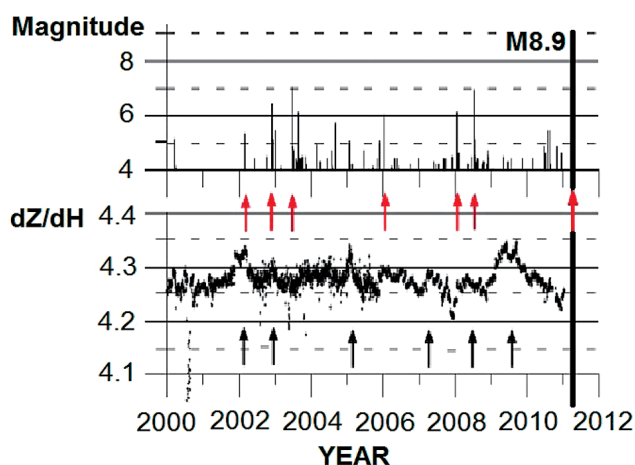


Рис. 1. Пространственно-временная связь между современными изменениями геомагнитного поля и тектонических напряжений в земной коре (на примере восточного побережья Японии, магнитная станция Есаши) за период наблюдения 01.01.2000—31.01.2011 [3]: а) динамика землетрясений, б) отношение разностей (dZ/dH) магнитных компонент для станции Есаши. Красные стрелки — аномальная сейсмичность, $M > 6$. Черные стрелки — аномалии геомагнитного поля. Вертикальная черная линия — момент сильного землетрясения (11.03.2011)

Fig. 1. The spatial-temporal relationship between present-day changes of the geomagnetic field and tectonic stresses in the earth's crust (on example of the eastern coast of Japan, the Yesashi magnetic station) for the observation period from 01.01.2000 to 31.01.2011 [3]: a) dynamics of earthquakes, b) ratio of differences (dZ/dH) of magnetic components for Yesashi station. Red arrows — anomalous seismicity, $M > 6$. Black arrows — anomalies of the geomagnetic field. Vertical black line — the moment of a strong earthquake (11.03.2011)

электро-, гравиметрические исследования) вдоль ряда профилей на Грозненском, Припятском и других геодинамических полигонах, которые функционировали в советский период, позволил установить [2]:

- связь между современными вертикальными движениями земной коры, геофизическими полями и геоструктурными элементами;
- пространственно-временную связь между возникновением геофизических аномалий и аномальным развитием современных вертикальных движений, которые, как правило, происходит в пределах разрывных нарушений, проявляющих современную тектоническую нестабильность.

На рисунке 2 приведены графики современного изменения приземного магнитного поля вдоль Терского профиля (Грозненский геодинамический полигон) за период апрель 1986 г. — сен-

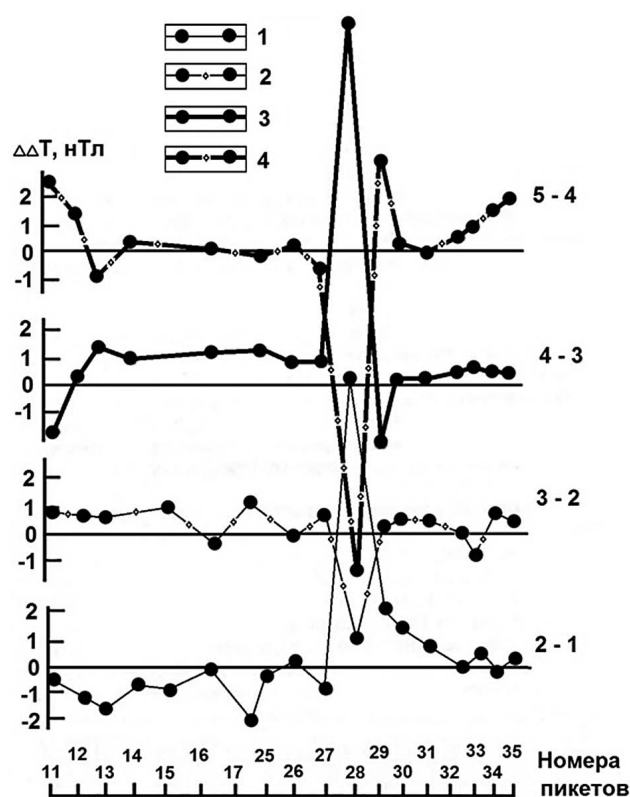


Рис. 2. Графики пространственно-временного изменения магнитного поля вдоль Терского профиля (Грозненский геодинамический полигон, Терско-Сунженская антиклинальная зона, центральная часть Терско-Каспийского прогиба) за период: апрель 1986 г. — сентябрь 1989 г. [4].

Даты измерений магнитного поля: 1 — апрель 1986 г., 2 — сентябрь 1986 г., 3 — июнь 1987 г., 4 — сентябрь 1988 г., 5 — сентябрь 1989 г.

Изменение магнитного поля за периоды: 2-1 — сентябрь—апрель 1986 г., 3-2 — июнь 1987 г. — сентябрь 1986 г., 4-3 — сентябрь 1988 г. — июнь 1987 г., 5-4 — сентябрь 1989 г. — сентябрь 1988 г.

Fig. 2. Graphs of the space-temporal change of the magnetic field along the Terek profile (Grozny geodynamic polygon, Tersko-Sunzhensky anticlinal zone, central part of the Terek-Caspian trough) for the period: from April 1986 to September 1989 [4].

Magnetic field measurement dates: 1 — April 1986, 2 — September 1986, 3 — June 1987, 4 — September 1988, 5 — September 1989.

Change of magnetic field for periods: 2-1 — September-April 1986, 3-2 — June 1987 — September 1986, 4-3 — September 1988 — June 1987, 5-4 — September 1989 — September 1988

тябрь 1989 г. За этот период выполнено по профилю 5 измерений магнитного поля с частотой опроса от 5 до 12 месяцев.

Из графиков следует, что за рассматриваемый период наблюдений на фоне небольших изменений магнитного поля вдоль профиля выделяется локальный участок (пикеты № 27—29), где магнитное поле изменялось аномально дважды (с периодом в один год).

Возникновение и продолжительность аномалий приземного магнитного поля имеют пространственно-временную связь с формированием здесь (вдоль Терского профиля) геодинамических аномалий, связанных с аномальным (по амплитуде, скорости) волновым развитием современных вертикальных движений земной коры [4, 7].

Таким образом, вышеприведенные примеры констатируют существующую пространственно-временную связь (локализация по площади и во времени, периодичность) между формированием аномальных изменений в геофизических полях (на примере магнитного поля) и геодинамических (сейсмических, асейсмических) аномалий.

Пространственно-временные особенности формирования современных геодинамических аномалий и количественно-временные выражения связанных с ними аномальных изменений в геофизических полях

Как известно, тектонические движения земной коры происходят всегда и везде, обладают волновой природой и наиболее ярко (скачкообразно, импульсно) развиваются в пределах тектонически нарушенных зон (разрывные нарушения разного ранга). Подобное перераспределение тектонического напряжения в земной коре находит отражение в развитии всех земных физических полей и флюидодинамических систем.

Основные пространственно-временные особенности формирования современных геодинамических аномалий [5]:

- *плановая приуроченность* к разрывным нарушенным зонам разного ранга;
- *периодичность* возникновения в пределах одних и тех же участков/зон (в зависимости от масштабности аномальных проявлений тектонических процессов) носит полиуровневый характер (инструментально установлены 22—25, 11—13, 5—6 лет, 2—3 года, 1 год, полгода, 3—4, 1 месяц);
- *площадные размеры* для наиболее часто встречаемых аномалий — длиной и шириной от первых сотен метров до 1—3 км) и во времени (короткоживущие — от первых недель до 1—1,5 года, чаще — 3—4 месяца и 1,2—1,4 года).

В пределах разрывных нарушений и в период их современной тектонической активизации инструментально зафиксированы одновременно происходящие аномальные локализованные (по площади и во времени) нижеследующие изменения в геофизических полях [2]:

- локализованные вариации магнитного поля во времени — до $\pm(8—10)$ нТл/год;
 - локализованные вариации силы тяжести во времени — до $\pm(0,2—0,3)$ мГал/год,
- где увеличение значений (+) соответствует условиям тектонического сжатия, (-) разрядка тектонического напряжения, значения снижаются до уровня прежних фоновых значений поля.

Возможный механизм аномального изменения, в частности приповерхностного магнитного поля, под влиянием современных геодинамических процессов представляется следующим образом:

Активизация (по любой первопричине) тектонических движений земной коры вызывает перераспределение тектонического напряжения в земной коре, что в пределах тектонически нарушенных зон происходит аномально. В этих зонах, характеризующихся нарушением сплошности геологической среды, по мере миграции тектонического напряжения (давления, величина векторная) первоначально происходит его активное накопление. В случае обновления или новообразования трещиноватости в горных породах на данном участке (что зависит от тектонической энергии и прочностных характеристик пород) происходит разрядка (резкое снижение) избыточного тектонического напряжения.

Тектонические движения земной коры, имеющие волновую природу и аномально протекающие в пределах разрывных нарушений, приводят к периодическому соответственно локализованному (по площади и во времени) аномальному изменению (повышению/снижению) в геологической среде температуры и проводимости, перераспределению земных токов и изменению (повышению/снижению параметров) магнитного поля на земной поверхности.

Предложенный механизм объясняет вышеуказанные особенности возникновения магнитных аномалий в период непосредственно предшествующий сильному землетрясению (рис. 1). Данные особенности приведены в работе [3], а именно: формирование магнитных аномалий всегда предшествует сильным землетрясениям, однако непосредственно перед землетрясением (начало образования микро- и трещин) все эти аномалии затухают.

Заключение

Результаты проведенного исследования имеют большое научно-практическое значение, поскольку:

- раскрыта геодинамическая причина наличия нестандартных («мерцающих») геофизических аномалий, которые не имеют прямой связи с наличием месторождений полезных ископаемых, а связаны с динамическими особенностями геологической среды — напряженно-деформационным состоянием земных недр на момент проведения геофизических съемок;
- предложен возможный механизм возникновения «мерцающих» геофизических аномалий (в частности, магнитных аномалий) под влиянием современных геодинамических процессов;
- существенно расширена возможность использования геодинамического подхода при поис-

ках твердых полезных ископаемых (сейчас геодинамические исследования используют, как правило, на стадии региональных исследований);

- предложены пути повышения эффективности локальных поисков — за счет повышения достоверности результатов интерпретации данных геофизических съемок (привлекая накопленные новейшие знания из смежных наук о Земле: инструментально установленные количественные выражения локализованных аномальных изменений в геофизических полях под влиянием современных тектонических процессов, количественные выражения пространственно-временного формирования самих современных геодинамических аномалий), а следовательно, общего снижения финансовых затрат и сокращения времени на проведение поисков месторождений полезных ископаемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бархатова О.М., Косолапова Н.В., Бархатов Н.А. Землетрясения как источник магнитогравитационных волн // Тр. форума «Великие реки 2013», 2013. Нижний Новгород: Изд. ННГАСУ, 2014. С. 93—96.
2. Донабедов А.Т., Сидоров В.А. О соотношениях между современными вертикальными движениями земной коры, геофизическими полями и геоструктурными элементами на юго-западе Русской платформы // Современные движения земной коры. М.: Наука, 1963. С. 63—85.
3. Исмагилов В.С., Копытенко Ю.А., Попов Г.М. Аномальные возмущения в вековых вариациях магнитного поля Земли перед катастрофическим землетрясением в Японии 11.03.2011 / Сб. тезисов XXXVI ежегодного Апатитского семинара «Физика авроральных явлений». Апатиты: Кольский научный центр РАН, 2013. С. 71—74.
4. Касьянова Н.А. Особенности современной геодинамики Терско-Сунженского района (Восточное Предкавказье) // Геотектоника. 1994. № 5. С. 85—90.
5. Касьянова Н.А. Экологические риски и геодинамика. М.: Научный мир, 2003. 332 с.
6. Кочнев А.П. Особенности локального прогнозирования твердых полезных ископаемых // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 1 (54). С. 33—44.
7. Кузнецова В.Г., Максимчук В.Е. Результаты тектономагнитных исследований для изучения структуры и современной геодинамики литосферы Терско-Каспийского прогиба // Геофизический журнал. 1991. Т. 13, № 6. С. 47—55.
8. Mogi K. Earthquake Predictions. Tokyo, Orlando, Fla: Academic Press, 1985. 166 p. (In English).

REFERENCES

1. Barkhatova O.M., Kosolapova N.V., Barkhatov N.A. Earthquakes as a source of magnetic gravity waves. Forum "Great Rivers 2013", 2013. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2014. P. 93—96 (In Russian).
2. Donabedov A.T., Sidorov V.A. On the relations between modern vertical movements of the earth's crust, geophysical fields and geostructural elements in the south-west of the Russian platform. Present-day movements of the earth's crust. Moscow: Science, 1963. P. 63—85 (In Russian).
3. Ismagilov V.S., Kopytenko Yu.A., Popov G.M. Anomalous disturbances in centuries-old variations of the Earth's magnetic field before a catastrophic earthquake in Japan 11.03.2011. XXXVI annual Apatit Seminar "Physics of Auroral Phenomena". Apatity: Kola Scientific Center, 2013. P. 71—74 (In Russian).
4. Kasyanova N.A. Features of present-day geodynamics of the Tersko-Sunzhensky area (Eastern Ciscaucasia). Geotectonics, 1994. No. 5. P. 85—90 (In Russian).
5. Kasyanova N.A. Environmental risks and geodynamics. Moscow: Scientific World, 2003. 332 p. (In Russian).
6. Kochnev A.P. Features of local forecasting of solid minerals. Geology, prospecting and exploration of ore deposits. 2016. No. 1 (54). P. 33—44 (In Russian).
7. Kuznetsova V.G., Maksimchuk V.E. Results of tectonomagnetic studies to study the structure and present-day geodynamics of the lithosphere of the Terek-Caspian trough. Geophysical journal. 1991. V. 13. No. 6. P. 47—55 (In Russian).
8. Mogi K. Earthquake Predictions. Tokyo, Orlando, Fla: Academic Press, 1985. 166 p.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Касьянова Н.А. — внесла вклад в решение проблемы использования геодинамических исследований для локального прогноза и поисков твердых полезных ископаемых и интерпретации нестандартных (мерцающих) геофизических аномалий, в разработку концепции статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты статьи.

Natalia A. Kasyanova — contributed to solving the problem of using geodynamic studies for local forecasting and prospecting of solid minerals and interpreting non-standard (shimmering) geophysical anomalies, to developing the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to accept responsibility for all aspects of the article.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Касьянова Наталья Александровна — доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор кафедры «Методика поисков и разведки месторождений полезных ископаемых», профессор кафедры «Геология и разведка месторождений углеводородов» ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: nkasyanova@mail.ru
SPIN-код: 1528-5332
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1662-9458>

Natalia A. Kasyanova — Dr. of Sci. (Geol. and Mineral.), Professor, Professor of the Department “Methodology of Prospecting and Exploration of Mineral Deposits”, Professor of the Department “Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits” of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: nkasyanova@mail.ru
SPIN: 1528-5332
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1662-9458>