

**ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ /  
GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION OF SOLID MINERALS, MINERALOGY**

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.96>

**МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РУДОНОСНОСТИ  
ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ДУРУДЖИНСКОЙ СТРУКТУРНО-ФОРМАЦИОННОЙ ЗОНЫ  
ВОСТОЧНОГО СЕГМЕНТА БОЛЬШОГО КАВКАЗА (АЗЕРБАЙДЖАН)**

Научная статья

**Гедирова Т.С.<sup>1,\*</sup>, Керимов Р.Б.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-1375-6187;

<sup>1,2</sup> Институт геологии и геофизики Национальной академии наук Азербайджана, Баку, Азербайджан

\* Корреспондирующий автор (qedirova1980[at]mail.ru)

**Аннотация**

В черносланцевых толщах Дуруджинской зоны Большого Кавказа выявлены довольно высокие содержания золота и ряда других металлов, концентрации которых в несколько раз превышают их кларковые значения. В статье приводятся фактические данные по концентрациям органического углерода, пирита и рудообразующих элементов в углеродсодержащих толщах региона. Изучены элементы-примеси в составе этих образований и формы их проявления в рудоносных зонах региона. Доказано, что в черных сланцах концентрации золота, свинца, кобальта, никеля, меди и лантана закономерно возрастают; с повышением содержания в них сульфидов концентрации селена, олова и урана уменьшаются, а содержание серебра, марганца и ванадия не зависит от процесса сульфидизации. С увеличением в указанных породах концентраций органического углерода, в отличие от степени их сульфидизации, возрастают содержания селена, ванадия, марганца, олова и урана.

**Ключевые слова:** элементы-примеси, золото, серебро, сульфидизация, органический углерод.

**MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL SPECIFICS AND PROSPECTS OF ORE-BEARING BLACK SHALE  
FORMATIONS OF THE DURUDZHINSKY STRUCTURAL AND FORMATION ZONE OF THE EASTERN  
SEGMENT OF THE GREATER CAUCASUS (AZERBAIJAN)**

Research article

**Gedirova T.S.<sup>1,\*</sup>, Kerimov R.B.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-1375-6187;

<sup>1,2</sup> Institute of Geology and Geophysics of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

\* Corresponding author (qedirova1980[at]mail.ru)

**Abstract**

In the black shale layers of the Durudzhinsky zone of the Greater Caucasus revealed a fairly high content of gold and several other metals, the concentrations of which are several times higher than their bulk earth values. The article presents the factual data on the concentrations of organic carbon, pyrite and ore-forming elements in the carbon-bearing layers of the region. The impurity elements in the composition of these formations and forms of their occurrence in the ore-bearing zones of the region are studied. It has been proved that concentrations of gold, lead, cobalt, nickel, copper and lanthanum regularly increase in black shales; concentrations of selenium, tin and uranium decrease with increasing sulphite content in them, and the content of silver, manganese and vanadium is independent of the sulphidization process. With increasing concentrations of organic carbon in these rocks, in contrast to the degree of their sulphidization, the content of selenium, vanadium, manganese, tin and uranium increases.

**Keywords:** impurity elements, gold, silver, sulphidization, organic carbon.

**Введение**

Наблюдаемое в последние десятилетия истощение запасов благородных металлов на месторождениях традиционного типа привело к тому, что в XXI в. ведущую роль начинают играть крупнообъемные месторождения с относительно невысоким содержанием металлов, пригодные для открытой отработки. В связи с этой проблемой расширения, обновления и комплексного использования минерально-сырьевой базы благородных и редких металлов необходимы поиски и разработка новых месторождений нетрадиционных генетических типов, в том числе локализованных в черносланцевых толщах [6].

Как известно, черносланцевые отложения весьма перспективны для выявления редких и благородных металлов. Они вмещают такие крупные месторождения золота и редких металлов как Сухой Лог, Майское, Олимпиадинское, Наталка в России, Кумтор в Киргизии, Бакырчик в Казахстане, Мурунтау в Узбекистане, Хомстейк в США и др. С этой точки зрения большой интерес представляют и черносланцевые отложения зоны южного склона Большого Кавказа.

В качестве объектов исследования выбраны слабоизученные ааленские черносланцевые отложения Дуруджинского тектонического поднятия южного склона Большого Кавказа, на благоприятные перспективы которых в отношении благородно- и редкометалльного оруденения впервые было обращено внимание И.Ш. Мамедовым, Н.А. Мусаевым, Г.А. Велиевым и др. [3], [5], [11], [12].

Целью настоящих исследований является определение особенностей состава черносланцевых отложений Дуруджинского тектонического поднятия южного склона Большого Кавказа и перспектив выявления в них благороднометалльного оруденения.

Для решения этих вопросов нами изучены петрографические и геохимические особенности черносланцевых отложений, характер распределения в них рудных минералов и органического вещества.

Данная работа основана на собственных полевых материалах исследованных черносланцевых отложений Дуруджинской зоны на примере наиболее типичных участков их развития (Галаджык, Гызылгая, Фильфилли) собранных в течение полевых сезонов (2012-2021 г.г.). Полевые геологические исследования осуществлялись на типовых участках с отбором проб необходимых силикатных, геохимических и минералогических анализов.

#### **Методы и принципы исследования**

В ходе полевых геологических исследований образцы отбирались специальными экспресс-методами и портативным рентгенофлуоресцентным анализатором Niton.

Литолого-минералогические исследования образцов проводились микроскопическим методом, размеры поверхности и морфологические особенности отдельных минералов изучались на электронном микроскопе Jeol, элементы-примеси их определены рентгеноспектральным методом. Рентгеноструктурный анализ рудных минералов проводился на приборе D8 Advance производства немецкой компании Bruker.

Геохимический анализ благородных и редких металлов в пробах был выполнен с помощью масс-спектрометрических и атомно-адсорбционных методов в приборах Agilent.

Наличие и количество углерода в образцах определены термографическим и ИК-спектрофотометрическим методами.

#### **Геологическое строение, минералого-геохимические особенности объекта исследования**

Дуруджинская структурно-формационная зона является южным структурным элементом Промежуточной структуры второго порядка южного склона Большого Кавказа [14]. Она сложена терригенно-осадочными отложениями ааленского возраста средней юры и на всем своем протяжении в виде узкого выступа среди меловых отложений отделяет Главный Кавказский хребет от Кахетино-Вандамской зоны.

В этой структуре рудоносные породы слоистые, локализуются они в ядерной части антиклинали, опрокинутой в юго-западном направлении, прослеживаются в тектонически слабых зонах и представлены метаморфизованными терригенно-осадочными образованиями, обогащенными органическим углеродом (1,35-8,36%).

В последние десятилетия в результате проведенных многочисленных исследований в пределах выявлено несколько рудо-проявлений колчеданной формации, приуроченных к определенным литолого-стратиграфическим горизонтам. Кроме того, в толще графитизированных сланцев аалена, содержащих углистое вещество, обнаружен молибден, предположительно отнесенный к ванадий-молибденовой ассоциации [7].

В геологическом строении данной структуры развиты породы ааленского этапа средней юры, представленной аспидной и терригенно-флишоидной формациями. Отложения аспидной формации представлены монотонными черными графитизированными глинистыми сланцами с прослойками алевролитов и полимиктовых песчаников. В разрезе глинистой толщи существенную роль играют конкреционные прослои и конкреции песчано-сидеритового, глинисто-сидеритового и пирит-сидеритового составов.

Скопления конкреций отмечаются в контакте отложений аспидной и терригенно-флишоидной формаций, образуют довольно выдержанный по простиранию горизонт мощностью около 12 м и частично ассоциируют с горизонтами густой вкрапленности пирита. В этих горизонтах, местами обогащенных органическими остатками, часто встречаются маломощные прослои и линзы тонкодисперсных скоплений пирита глобулярного строения.

В северном и особенно южном обрамлениях Дуруджинской структуры в разрезе аспидной формации в различных горизонтах появляются пласты угленосных сланцев.

Терригенный флишоид сложен ритмичным чередованием полимиктовых песчаников, алевролитов, алевропесчаников и глинистых сланцев с линзовидными пропластками сингенетичного пирита. Флишоид верхней части полимиктов разреза грубеет и сменяется песчано-сланцевой толщей. Анализ фаций и мощностей терригено-флишоидных отложений ааленского этапа средней юры Дуруджинской структуры показывает, что они в своем объеме принадлежат к осадкам локального узкого трога, борта которого были осложнены конседиментационными разломами (рис.1).

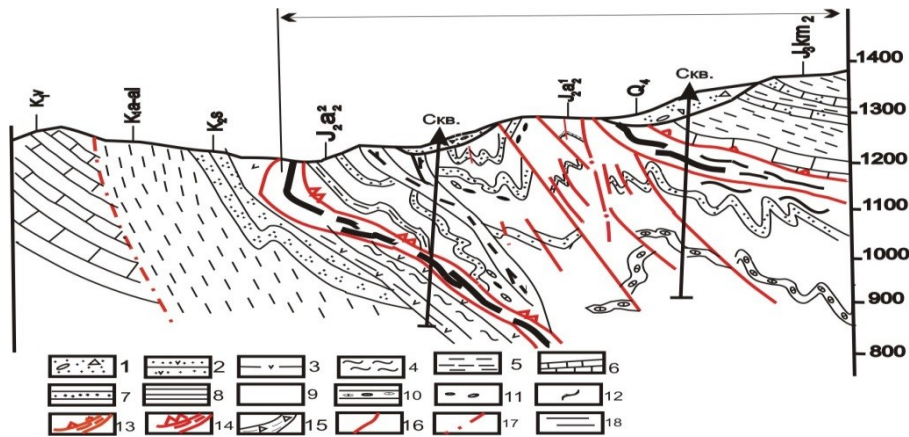


Рисунок 1 - Поперечный геологический разрез Дурджинской структуры:

1 – элювиально-делювиальные отложения; 2 – туфопесчаники, туфогравелиты; 3 – туфы, туфолавы андезит-дацитового состава; 4 – углистые глинистые сланцы; 5 – окремненные алевроглинистые сланцы; 6 – пелитоморфные известняки; 7 – известковые песчаники; 8 – чередование слюдистых песчаников, алевролитов и глинистых сланцев; 9 – монотонные глинистые сланцы; 10 – прослои глинистых и глинисто-карбонатных сидеритов; 11 – пиритовые и пирит-сидеритовые конкреции; 12 – будинированные пиритовые и кварц-карбонат-пирит-халькопиритовые прожилки; 13 – зона Гайнарского разлома; 14 – зона Зангинского глубинного разлома; 15 – зоны брекчирования с кварцевыми прожилками; 16 – сбросо-надвиги и взбросы, надвиги; 17 – сдвиги, сбросы; 18 – кливаж рассланцевания

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.96.1>

Примечание: горизонтальный масштаб – 1: 25000; составлен по геологическим материалам Главной Кавказской экспедиции

Отложения терригенно-флишоидной формации средней юры на всем своем протяжении отделены на севере от терригенно-карбонатных пород верхней юры и нижнего мела Кайнарским разломом, а на юге – Зангинским разломом, южнее которого развита толща вулканогенно-осадочной формации верхнего мела, сложенная пирокластическими, вулканогенно-осадочными, лавовыми и субвулканическими фациями лейкобазальтов, оливиновых базальтов, трахиандезитобазальтов и андезитов.

Вскрытие верхнемеловых отложений скважинами под среднеюрскими толщами на глубине 700-800 м доказывает надвинутую природу Зангинского разлома (рис.1).

В поперечном сечении Дурджинская структурная зона имеет форму сходящегося по восстанию асимметричного тектонического клина с пологим (25-35°) северным (Кайнарским) и более крутым (45-75°) южным (Зангинским) ограничениями. Эти разломы выражены узкими зонами рассланцевания и дроблением с глиной трения, сопровождающимися кварцевыми и кварц-кальцит-пиритовыми прожилками.

В этой зоне установлены десятки рудоносных объектов, сопровождаемых благородными и другими металлами, расположенных в зонах гидротермально-измененных пород вдоль общекавказских и поперечных разломов (рис. 2).

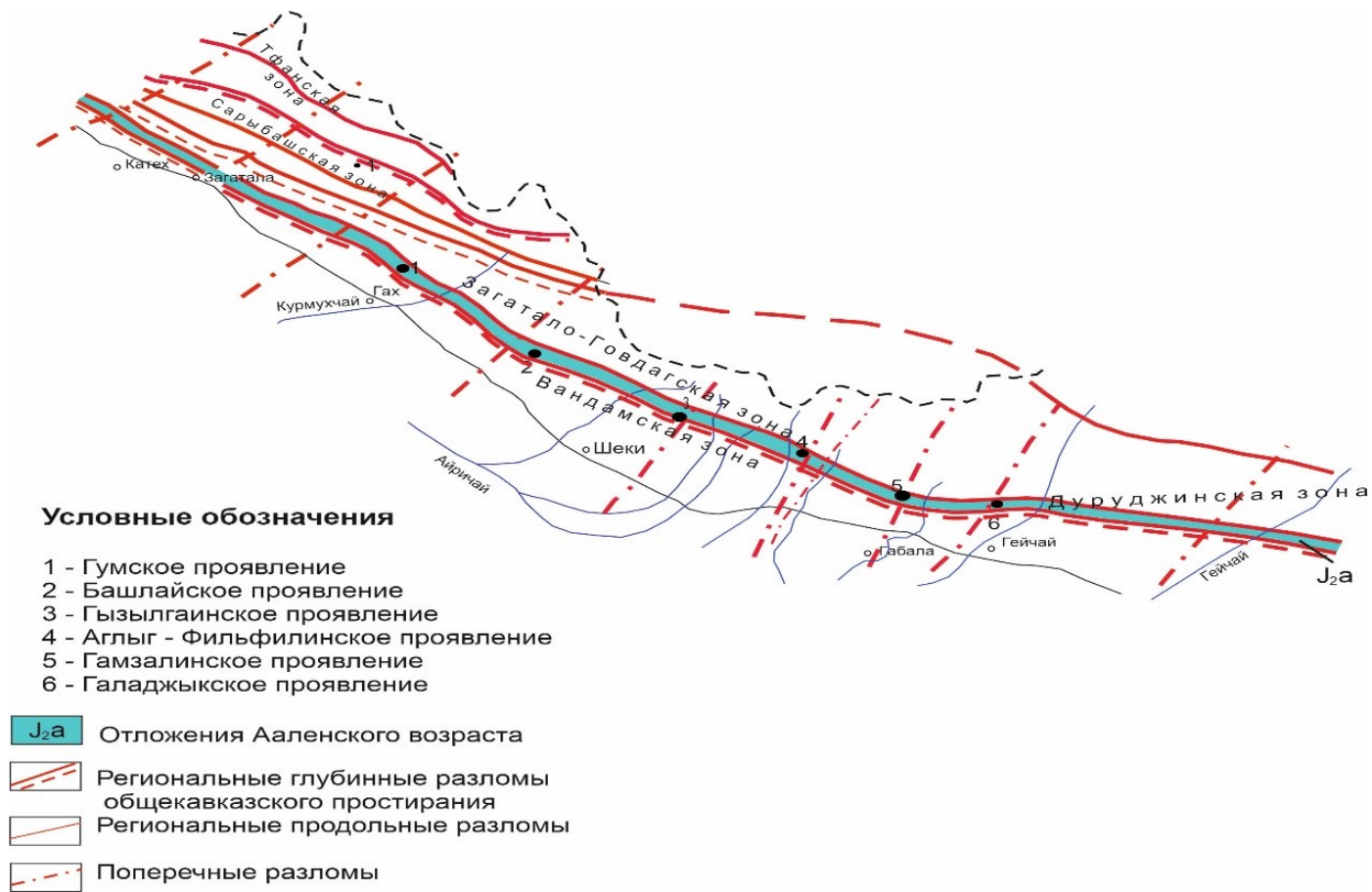


Рисунок 2 - Схематическая карта расположения золото-сульфидных рудопоявлений в Дуруджинской структурно-формационной зоне южного склона Большого Кавказа  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.96.2>

Из них наиболее перспективным на золото и редких металлов являются Гызылгаинская, Филфиллинская и Галаджыкская площади. Рудоносные оруденелые зоны в этих объектах морфологически представлены пластами, сопровождаемыми вкрапленной и прожилковой минерализацией. На основании геофизических и геохимических данных изучены особенности пространственного распределения оруденения по глубине и горизонтالي.

Исследования по этим объектам проводились на основании личных материалов авторов и материалов проведенных поисково-разведочных работ [2], [8], [13].

Пробы, отобранные в этих зонах, сопровождаются высокими концентрациями золота, серебра и ряда других металлов (табл.1).

В зонах раздробленных и смятых глинистых сланцев этих объектов оруденение представлено кварц-кальцит-сульфидными агрегатами. Эти зоны наблюдаются в нескольких разрезах и имеют мощность от 5-10 метров и прослеживаются на поверхности земли на расстоянии до 2,0 км.

Специфической особенностью черносланцевой толщи в этих участках является наличие горизонта протяженностью до нескольких десятков метров, представленного многочисленными конкрециями, отличающимся по составу, форме и размерам.

В некоторых горизонтах продуктивной толщи, конкреции составляют 8-13% от общей массы породы. Именно с этими горизонтами связано большинство скоплений руды. Среди конкреций встречаются карбонатные (преимущественно сидерит), сульфидные (пирит, значительно меньшее количество марказита) и смешанные (сидерит-пирит, пирит-глина, сидерит-пирит-песчаник и др.) образования шаровидными, овальными, почечно- и линзовидными формами. Большинство из них содержат кварц, графит и другие минералы, которые образуют мелкие (измеряемые в мм и более мелкие) прожилки, гнёзда и вкрапленники.

На этих рудоносных площадях оруденение представлено линзо-и пластообразным, линзовидно-конкреционным и прожилково-вкрапленным типами, которые значительно отличаются друг от друга по количеству благородных и других металлов. С практической точки зрения наибольший интерес представляют рудам прожилково-вкрапленного типа, широко распространенным на изученной территории и характеризующимся высокими концентрациями указанных элементов.

В оруденелых зонах наблюдаются три типа рудной минерализации: сингенетическое, эпигенетическое прожилково-вкрапленное золото-сульфидно-кварц-кальцитовое оруденение и окисленные в виде полосы мощностью до 10 метров руды.

Пиритовая минерализация сингенетического типа широким развитием пользуется на рассланцеванных участках Дуруджинской зоны и прослеживается на расстоянии более чем на километр.

Таблица 1 - Средние содержания химических элементов в породах черносланцевой толщи Дуруджинской структурно-формационной зоны

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.96.3>

Элементы	Песчаники, г/т	Глинистые сланцы, г/т	Алевриты, г/т
Cr	61,18	90,13	57,23
Mn	910,67	1090,27	772,54
Ni	62,05	50,53	68,66
Co	7,22	7,04	7,54
Cu	112,63	153,29	89,25
Zn	169,47	160,13	61,24
Pb	23,89	49,01	11,19
Sr	348,83	406,28	156,19
As	19,29	17,97	13,07
Sb	3,69	21,78	2,35
Cd	2,76	4,55	1,68
Ba	806,21	877,58	473,19
Au	0,54	0,53	0,25
Ag	2,87	3,61	1,82
Ti	2953,08	3748,63	2701,84
Zr	132,65	148,47	81,52
V	98,02	248,31	114,88
Mo	4,02	8,82	3,65
Se	1,24	5,01	3,60
Hf	2,20	4,83	1,96
La	38,80	74,09	23,88

Yb	1,67	2,23	1,62
Ce	21,79	33,62	29,46
Nd	21,64	19,57	17,56
Sm	8,40	7,95	6,15
Eu	1,74	2,05	1,47
Tb	2,16	2,07	1,24
Lu	1,41	1,77	0,78
Th	10,12	18,46	9,29
U	3,95	8,83	3,05
Sn	22,71	23,58	16,20
Cs	9,56	8,84	6,35
S	1,50	0,87	0,82
P	0,52	0,08	0,04

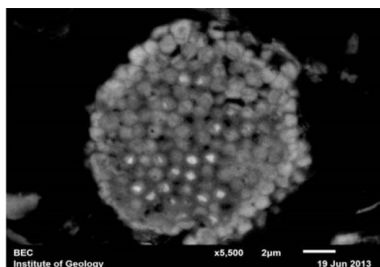
Оруденение эпигенетического типа наблюдается на локальных участках, особенно в зонах, подверженных сильным гидротермальным изменениям. Этот тип оруденения располагается в продуктивном горизонте протяженностью более 1 км, с неравномерно рассеянными вкрапленниками пирита, в разной степени замещенными гидроксидами железа.

Для окисленных руд характерно накопление свободного золота в гипергенных минералах, являющихся продуктами распада первичных сульфидов, удерживающих включения тонкодисперсного золота.

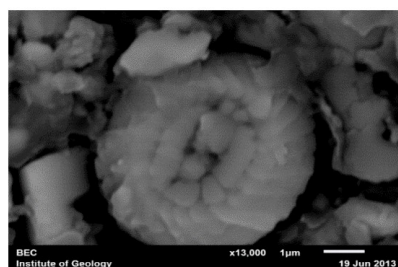
В целом пирит считается ведущим минералом руд, характеризующихся очень простым минеральным составом и представлен образованиями как сингенетической, так и эпигенетической природы.

На электронно-микроскопических снимках образцов пирита наблюдаются псевдоморфозы этого минерала по остаткам микроорганизмов.

Неотъемлемой частью сингенетической сульфидной минерализации являются нередко встречающиеся сферические (глобулярные) агрегаты пирита. Строение этих мелких образований, размером всего до нескольких микрон в поперечнике, отчетливо проявляется при изучении их под электронным микроскопом (рис.3: а и б). Наряду с тесно расположенными глобулитами часто встречаются также одиночные сферолиты минерала по микроорганизмам.



а)



б)



в)

Рисунок 3 - Морфологические разновидности пирита:

а - фрамбоидальный пирит под электронным микроскопом X5500; б - сферолиты пирита по микроорганизмам под электронным микроскопом X13000; в - хорошо огранённые идиоморфные и точечные кристаллы эпигенетического пирита

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.96.4>

Не исключая возможность экспериментально доказанного формирования глобулярных обособлений как биогенным, так и абиогенным путем, следует отметить, что частая приуроченность аналогичных агрегатов на участках Дуруджинской зоны к прослойкам вмещающих пород, обогащенных  $S_{орг}$ , и ассоциация их с псевдоморфозами указанного минерала по микрофаунистическим остаткам позволяют относить их к пирит-генерирующим микроорганизмам или возможно метасоматическим образованиям, развивающимся по отмершим микроорганизмам.

В отличие от сингенетического пирита эпигенетический пирит не отличается разнообразием агрегатных форм и обычно встречается в виде изометричных хорошо ограниченными зерен размером в сотые и десятые доли миллиметра в поперечном сечении (рис. 3в).

Главная масса золота в зонах минерализации связана с пиритом, в зернистых пятнисто-вкрапленных и прожилковых образованиях которого оно рассеяно в тонкодисперсной форме. Возможно также присутствие мелких включений золота, реомобилизованного при разложении микроорганизмов сингенетических пиритов метаморфическими и гидротермальными процессами. Следует подчеркнуть, что невидимое золото, в метаморфогенно-гидротермальной системе сосредоточенное в эпигенетическом пирите, в последующих этапах становится видимым [6].

Как отмечалось многими исследователями, сорбция и восстановление микроэлементов в первичных осадках происходили на фоне соосаждения сульфидов железа и в значительной мере определялись его интенсивностью. Исследования рудоносной черносланцевой толщи Дуруджинской структурно-формационной зоны позволили выявить зависимость содержания ряда рудных элементов, в частности золота, от степени сульфидизации пород. Содержания золота, свинца, молибдена, кобальта, никеля, меди и лантана закономерно возрастают с повышением степени сульфидизации пород (табл. 2).

Таблица 2 - Содержания элементов-примесей в черносланцевых отложениях Дуруджинской структурно-формационной зоны в зависимости от степени сульфидизации\*

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.96.5>

Содержание сульфидов, %	<1	1-3	3-6	6-9	>9
Количества проб	7	5	6	4	5
Au, г/т	0,23	0,31	0,73	0,98	1,21
Pb, г/т	10,2	16,4	23,6	35,8	47,8
Mo, г/т	11,1	17,2	19,1	25,4	32,7
Co, г/т	64,2	75,3	76,5	72,2	195,5
Ni, г/т	33,1	49,3	74,3	53,2	177,2
Cu, г/т	126,3	146,1	216,6	356,3	385,1
Zn, г/т	47,7	155,3	186,4	276,6	344,4
Se, г/т	12,2	8,3	8,1	6,4	1,2
La, г/т	25,4	48,9	36,5	64,7	65,8
U, г/т	3,8	3,03	2,7	2,5	2,3
Ag, г/т	1,95	2,03	3,0	2,91	3,8
Mn, г/т	2729,4	3761,4	1371,5	2271,2	2367,9
Sn, г/т	37,2	38,02	19,4	15,9	12,4
V, г/т	141,9	199,0	160,2	307,3	270,9
Ni/Co, г/т	0,5	0,6	0,9	0,7	0,9

Примечание: \* - сульфидизация определена химическим методом по содержанию серы

В этом же направлении концентрации селена, урана и олова понижаются, а содержания серебра, марганца и ванадия не зависят от процесса сульфидизации.

Многочисленные горизонты черносланцевой толщи региона имеют повышенную сульфидную минерализацию, достигающую 1-2 %, а местами 6-9 и более %. Основным сульфидным минералом здесь является пирит, представленный разноразмерными кристаллами, линзовидными агрегатами, линзами зонального и незонального строения, прожилками, мелкими линзовидными жилками, мельчайшей сыпью глобулярных, а также тонкозернистых разновидностей – состоящих из смеси марказита и пирита. В отдельных горизонтах местами преобладает пирротин. Он, как правило, представлен мелкими (1-3 мм и менее) линзовидными выделениями вдоль слоистости и сланцеватости пород. Другие сульфиды обнаружены только под микроскопом, обычно в виде включений в микротрещинах эпигенетических пиритов. По убыванию они представлены: халькопиритом, марказитом, галенитом, сфалеритом, молибденитом. Из других рудных минералов в черносланцевых отложениях региона часто встречается марказит. Анализируя геохимические особенности сульфидных минералов (табл.3) по данным электронно-микроскопических исследований,

отмечается, что в эпигенетических пиритах содержание рудогенных элементов-примесей как Au, Co, Cr, Cu, Zn, Pb очень высокое, нежели в глобулярных пиритах. Причиной этого может быть генетические различия накопления указанных элементов в этих минералах. Максимальная концентрация золота в кристаллах пирита метаморфического генезиса рудоносных зон достигает в горизонтах, содержащих углистое (оргоногенное) вещества, до – 2,76%. Максимальное содержание серебра 2,02% характерно для глобулярных пиритов. Максимальные содержания (в %-х): Co – 0,44, Sn – 0,02, Pb – 0,012, Zn – 0,99 и Cu- 0,72 отмечены в эпигенетических пиритах. Для глобулярных пиритов характерно присутствие максимальных концентраций Se (3,07%). В зонах пиритовой минерализации в зависимости концентрации сингенетического и эпигенетического пирита содержание золота и серебра варьируют в пределах от 0,41 до 1,66г/т и от 0,27 до 14,6 г/т соответственно [13].

Зоны окисления изученных рудных объектов в зависимости от местности, геоморфологических условий, глубины залегания исходных руд и разнообразий текстурно-структурных особенностей рудообразующих минеральных агрегатов и др. развивались неравномерно. Расположение этих проявлений в зоне относительно влажного климата показывает, что электрохимические процессы, наряду с химическими факторами, играют весьма важную роль в формировании их зон окисления. Мощность зон окисления в рудных объектах изменяется в зависимости от мощности рудовмещающих слоев в зонах тектонических разломов. В этих зонах сульфиды и карбонаты замещались гидроксидами железа и гипсом, растворялись и удалялись. Сопоставление условий накопления различных типов оруденения, их морфологических особенностей, местонахождений и последовательности минералов показывает, что сульфидные ассоциации формировались в несколько этапов в течение длительного времени.

Таблица 3 - Содержания элементов-примесей в сульфидных минералах

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.96.6>

Элементы	Эпигенетический пирит, %	Глобулярный пирит, %	Халькопирит, %	Галенит, %	Сфалерит, %
S	51,16	51,88	34,49	13,00	30,68
Ni	0,36	-	-	-	-
Co	0,44	-	-	-	-
Cr	0,24	-	0,34	0,53	-
Fe	42,82	42,76	29,61	3,25	6,9
Se	-	3,07	-	0,24	-
La	-	-	-	-	-
Gd	-	-	-	0,68	0,96
Sn	0,02	-	-	-	-
Au	2,76	0,27	1,21	-	-
Ag	-	2,02	-	1,01	-
Cu	0,72	-	33,14	0,70	0,38
Pb	0,49	-	1,21	80,63	-
Zn	0,99	-	-	0,31	58,73
Сумма	100	100	100	100	100

Эти этапы связаны с процессами складчатости, различными типами и направлениями разрывных нарушений. Опыт исследований показывает, что на начальном этапе, синхронно с процессом породообразования, образовались горизонты с пиритными конкрециями, в последующем этапе развития тектонических процессов формировались сульфидные прожилки. Эти прожилки отличаются от осадочных пиритовых агрегатов, слагающих рудный флиш, как своим внутренним строением, так и характеру размещения. Агрегаты пирита, обнаруженные в зонах оруденения, залегают в соответствии с осадочными породами. Часто претерпевая фазиальные изменения, они сопровождаются кварцем и карбонатами. Контакт пластов с окружающими породами обычно очень плавный, мало чем отличающийся от контакта между песчаниками и глинистыми сланцами. Прожилково-вкрапленное оруденение обычно не соответствует общему залеганию вмещающих пород, и сульфидные руды встречаются только в ассоциации с кварцем и карбонатами. Сами рудовмещающие породы интенсивно пиритизированы со следами зеркального скольжения по поверхности, контакты их кливажные. Поскольку здесь сильно развиты тектонические процессы, можно сделать вывод, о том что это связано с более поздними стадиями формирования золото-сульфидного оруденения.

Из мировой литературы известно, что органические вещества, содержащиеся в сорбционных характеристиках черных сланцев, оказывают существенное влияние на накопление некоторых редких и радиоактивных элементов. С этой точки зрения черные сланцы Дуруджинской структурно-формационной зоны ранее не изучались и анализы органического вещества не проводились. Азадалиев Дж.А. и т.д. [1] оценили по литературным материалам, что здесь сланцы могут содержать металлоорганические соединения. Поэтому особое значение имеет изучение роли  $S_{орг}$  в накоплении и распределении элементов-примесей в черных сланцах Дуруджинской зоны.

Таким образом, богатые углеродом сланцы обладают сильной сорбционной способностью и характеризуются рудоосаждающими, регенеративными, барьерными свойствами, активизирующими электрохимические процессы при



рудообразовании и играющие положительную роль в процессах минералообразования и образования рудной массы [15].

Наличие, количество, сочетания и свойства углеродистых веществ в исследованных нами образцах изучались термогравиметрическим, пиролизным, электронно-микроскопическим, ИК-спектроскопическим и другими методами.

В работах Иванкина П.Ф. и Назарова Н.И. [10] отмечено, что органические соединения в терригенных породах играют важную роль в формировании месторождений металлов и зон оруденения процессе метаморфизма. С другой стороны, Иванкин П.Ф. считает, что терригенные породы, содержащие органические соединения, наряду с органическими соединениями биогенного происхождения могут содержать органические вещества эндогенного происхождения. Эти соединения играют важную роль в процессах минерализации.

Отмечено, что большинство образцов стадийно теряют основную часть своей массы при температуре 400°C, органические вещества разлагаются при 350-400°C, а сульфиды – при 500-550°C. Следует отметить, что А.К. Кумбазаров и др. [16] наблюдали разложение органического вещества при 370°C и сульфидов при 530°C при изучении золотосодержащего органического вещества в черных сланцах. По результатам установлено, что количество органического вещества в черных сланцах Дуруджинской структурно-формационной зоны колеблется в пределах 1,35-8,36% [2].

Содержания элементов-примесей в черносланцевых отложениях Дуруджинской структурно-формационной зоны в зависимости от концентрации  $C_{орг}$ , % представлены на рис. 4.

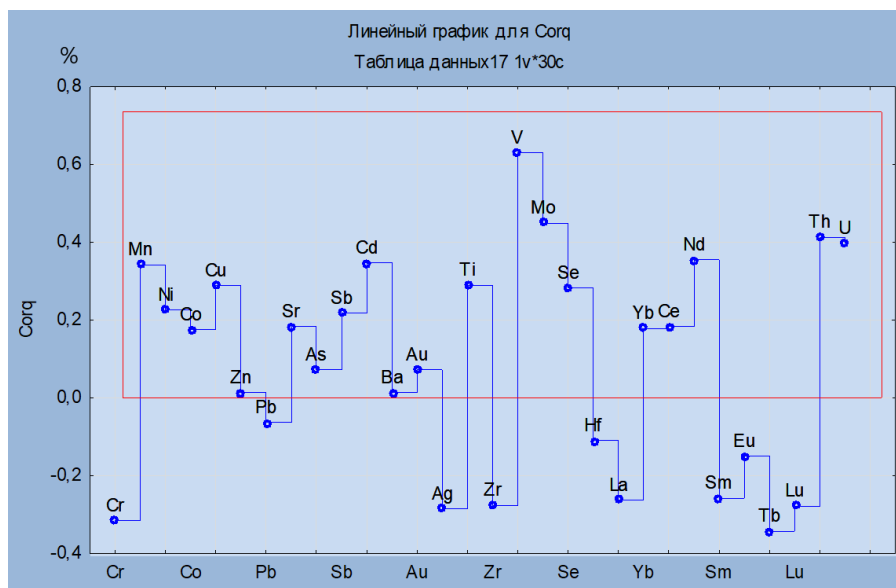


Рисунок 4 - Зависимость содержаний элементов-примесей в черносланцевых отложениях Дуруджинской зоны от концентрации  $C_{орг}$

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.96.7>

Как видно из рис. 4, с увеличением в черносланцевых отложениях концентраций органического углерода, возрастают содержания золота, молибдена, меди, селена, ванадия, марганца и урана, а содержания серебра, свинца, кобальта, никеля и лантана уменьшаются.

В целом, по Я.Э.Юдовичу и М.П. Кетрис, черные сланцы делятся на 4 группы. Обогащенные органическим веществом ( $C_{орг} > 1\%$ ), низкоуглеродистым ( $C_{орг} = 1-3\%$ ), углеродистым ( $C_{орг} = 3-10\%$ ), высокоуглеродистым ( $C_{орг} > 10\%$ ) [17].

По результатам анализа  $C_{орг}$  черные сланцы Дуруджинской зоны относятся к низкоуглеродистой и углеродистой группам. Однако следует отметить, что в этой зоне часто отмечается графитизированные сланцы.

Таким образом, органическое вещество является важным фактором, создающим благоприятные условия для осаждения рудных минералов, оно в зависимости от фациально-литологического типа пород образует высокие концентрации преимущественно в глинах.

Корреляция между концентрациями ряда микроэлементов и  $C_{орг}$  в черных сланцах может быть объяснена сорбционными свойствами органических веществ.

### Заключение

В пределах Дуруджинской структурно-формационной зоны в песчано-глинистых породах установлены повышенные концентрации золота и ряда редких элементов.

В черносланцевых образованиях указанной зоны обнаружена прямая зависимость содержаний металлов, и в частности золота, от степени проявления в них сульфидизации и концентрации органического вещества ( $C_{орг}$ ).

Различие аномальных значений при этом в концентрации золота и некоторых редких элементов зависит от степени сульфидизации пород, особенностей их накопления и распределения, а также степени воздействия гидрогеохимических процессов, протекающих в приразломных зонах различного направления.

В результате проведенных исследований установлено, что участки, характеризующиеся повышенной степенью сульфидизации, в плане концентрации ряда редких и благородных металлов являются перспективными для поиска этих элементов.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

1. Azadəliyev C.Ə. Filizəmələgəlmə proseslərində metalların geokimyası və mineralogeniyası / C.Ə. Azadəliyev. — Bakı, 2006. — 303 s.
2. Qədirova T.S. Duruca struktur-formasiya zonasının qara şistlərində Cüzvi-nin bəzi kimyəvi elementlərin toplanmasında rolu / T.S. Qədirova // Bakı Dövlət Universitetinin Xəbərləri. Təbiət elmləri seriyası. — 2022. — № 4. — S. 81-91.
3. Məmmədov İ.Ş. “Qara şist” qatının kompleks metallara perspektivliyinin bəzi aspektləri / İ.Ş. Məmmədov, N.S. İsayeva, H.A. Vəliyev [və b.] // Bilgi jurnalı, Yer elmləri. — 2006. — № 4. — S. 53-55.
4. Məmmədov Z.İ. Küngütçay filizləşmə sahəsi filizlərinin xüsusiyyətləri və mineral tipləri / Z.İ. Məmmədov, İ.Ş. Məmmədov. [və b.] // BDU xəbərləri (təbiət elmləri seriyası). — 2000. — № 3. — S. 170-179.
5. Məmmədov O.M. Ağlıq-filfilli qızıl-sulfid yatağının geoloji quruluşunun xüsusiyyətləri və filizlərin mineraloji səciyyəsi / O.M. Məmmədov, İ.Ş. Məmmədov, H.A. Vəliyev // Bilgi dərgisi. Fizika-riyaziyyat, yer elmləri seriyası. — 2000. — № 4. — S. 80-83.
6. Буряк В.А. Эволюционный ряд крупнообъемных золото-платиноидных месторождений в углеродистых толщах / В.А. Буряк, В.И. Гончаров, Н.А. Горячев // Доклады РАН. — 2002. — Т. 387. — № 4. — С. 512-515.
7. Балогланов А.Х. Особенности геологии и металлогении Дуруджинской структуры нагнетания на южном склоне Большого Кавказа. Закономерности размещения колчеданных месторождений во флишоидных толщах / А.Х. Балогланов, Я.Ф. Подгорный // Труды ЦНИГРИ. — Москва, 1982. — Вып. 168. — С. 73-77.
8. Велизаде С.Ф. Минеральный состав руд Кюнгютчайского рудного поля (Азербайджан) / С.Ф. Велизаде, Р.Б. Керимов // Проблемы и перспективы современной минералогии. — Сыктывкар, 2014. — С. 67.
9. Ермолаев Н.П. Механизмы концентрирования благородных металлов в терригенно-углеродистых комплексах / Н.П. Ермолаев, Н.А. Созинов, Р.П. Котина [и др.] — М.: Научный мир, 1999. — 124 с.
10. Иванкин П.Ф. Проблема углеродистого метасоматоза и рассеянной металлоносности осадочно-метаморфических пород / П.Ф. Иванкин, Н.И. Назаров // Журнал ЦНИГРИ. — 1984.
11. Керимов Р.Б. Минеральный состав и геохимические особенности руд Филфилинского рудопроявления золота Дуруджинской шовный зоны (Азербайджан) / Р.Б. Керимов, Т.С. Гадирова и др. // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии. Сборник докладов Третьей Всероссийской научной конференции. — Благовещенск, 2014. — Т. 1. — С. 105-106.
12. Керимов Р.Б. Некоторые особенности рудовмещающих пород Галаджыкского золоторудного проявления (Азербайджан) / Р.Б. Керимов, С.Ф. Велизаде, Э.Н. Эфендиева // Материалы международной конференции «Золото Феноскандинавского щита». — Петрозаводск, 2013. — С. 84-87.
13. Керимов Р.Б. Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований / Р.Б. Керимов. — М.: ИГЕМ РАН, 2010. — С. 237-240.
14. Курбанов Н.К. Закономерности размещения и условия локализации медно-полиметаллических месторождений Белокано-Шекинской колчеданосной провинции (южный склон Большого Кавказа) / Н.К. Курбанов, И.М. Ибрагимов // Труды ЦНИГРИ. — 1971. — Вып. 99. — С. 160-169.
15. Кашкай Ч.М. Экспериментальное исследование процессов концентрирование меди, цинка, кобальта, никеля и серебра в черных сланцах Дуруджинской зоны Южного Склона Большого Кавказа (Азербайджан) / Ч.М. Кашкай, С.А. Зейналова, Р.В. Керимов [и др.] // Вестник Воронежского Государственного Университета. Серия: Геология. — 2017. — № 2. — С. 91-96.
16. Кумбазаров А.К. Термографические исследования поведения золотоносных органических веществ / А.К. Кумбазаров, Т.У. Исакова, Е.Н. Москаленко // Записи Узбекского отделения ВМО. — Ташкент, 1987.
17. Юдович Я.Э. Геохимия черных сланцев / Я.Э. Юдович, М.П. Кетрис. — Л.: Наука, 1988. — С. 272.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Azadeliyev J.A. Filizəmələgəlmə proseslərində metalların geokimyası və mineralogeniyası [Geochemistry and Mineralogy of Metals in Mineralization Processes] / J.A. Azadeliyev. — Baku, 2006. — 303 p. [in Azerbaijani]
2. Kadyrova T.S. Duruca struktur-formasiya zonasının qara şistlərində Cüzvi-nin bəzi kimyəvi elementlərin toplanmasında rolu [The Role of Juzvi in the Accumulation of Some Chemical Elements in the Black Shales of the Duruca Structural-formation Zone] / T.S. Kadyrova // Bakı Dövlət Universitetinin Xəbərləri. Təbiət elmləri seriyası [Baku State University News; Natural Science Series]. — 2022. — № 4. — P. 81-91. [in Azerbaijani]

3. Mammadov I.S. "Qara şist" qatının kompleks metallara perspektivliyinin bəzi aspektləri [Some Aspects of the Prospects of the "Black Shale" Layer for Complex Metals] / I.S. Mammadov, N.S. Isayeva, H.A. Valiyev [et al.] // Bilgi jurnalı, Yer elmləri [Journal of Knowledge, Earth Sciences]. — 2006. — № 4. — P. 53-55. [in Azerbaijani]
4. Mammadov Z.I. Kungütçay filizləşmə sahəsi filizlərinin xüsusiyyətləri və mineral tipləri [Characteristics and Mineral Types of the Kungutchay Mineralization Field Ores] / Z.I. Mammadov, I.S. Mammadov [et al.] // BDU xəbərləri (təbiət elmləri seriyası) [BSU News (Series of Natural Sciences)]. — 2000. — № 3. — P. 170-179. [in Azerbaijani]
5. Mammadov O.M. Ağlıq-fililli qızıl-sulfid yatağının geoloji quruluşunun xüsusiyyətləri və filizlərin mineraloji səciyyəsi [Features of the Geological Structure of the White-pearl Gold-sulphide Deposit and Mineralogical Characteristics of the Ores] / O.M. Mammadov, I.Sh. Mammadov, H.A. Valiyev // Bilgi dərgisi. Fizika-riyaziyyat, yer elmləri seriyası [Knowledge Journal. Physics and Mathematics, Earth Sciences Series]. — 2000. — № 4. — P. 80-83. [in Azerbaijani]
6. Burjak V.A. Jevoljucionnyj rjad krupnoob'emnyh zoloto-platinoidnyh mestorozhdenij v uglerodistyh tolshhah [Evolutionary Series of Large-volume Gold-platinoid Deposits in Carbonaceous Layers] / V.A. Burjak, V.I. Goncharov, N.A. Gorjachev // Doklady RAN [RAS Reports]. — 2002. — Vol. 387. — № 4. — P. 512-515. [in Russian]
7. Baloglanov A.H. Osobnosti geologii i metallogenii Durudzhinskoj struktury nagnetanija na juzhnom sklone Bol'shogo Kavkaza. Zakonomernosti razmeshhenija kolchedannyh mestorozhdenij vo flişoidnyh tolshhah [Peculiarities of Geology and Metallogeny of the Durudzhina Thrust Structure on the Southern Slope of the Greater Caucasus. Laws of Placement of Pyrite Deposits in Flyschoid Strata] / A.H. Baloglanov, Ja.F. Podgornij // Trudy CNIGRI [Proceedings of TsNIGRI]. — Moscow, 1982. — Iss. 168. — P. 73-77. [in Russian]
8. Velizade S.F. Mineral'nyj sostav rud Kjungutçajskogo rudnogo polja (Azerbajdzhan) [Mineral Composition of Kyungyutçai Ore Field (Azerbaijan)] / S.F. Velizade, R.B. Kerimov // Problemy i perspektivy sovremennoj mineralogii [Problems and Prospects of Modern Mineralogy]. — Syktyvkar, 2014. — P. 67. [in Russian]
9. Ermolaev N.P. Mexanizmy koncentrirovaniya blagorodnyh metallov v terrigenno-uglerodistyh kompleksah [Mechanisms of Concentration of Noble Metals in Terrigenous-carbon Complexes] / N.P. Ermolaev, N.A. Sozinov, R.P. Kotina [et al.] — M.: Nauchnyj mir, 1999. — 124 p. [in Russian]
10. Ivankin P.F. Problema uglerodistogo metasomatoza i rassejannoj metallonosnosti osadochno-metamorficheskix porod [The Problem of Carbonaceous Metasomatoses and Scattered Metal Bearing of Sedimentary-metamorphic Rocks] / P.F. Ivankin, N.I. Nazarov // Zhurnal CNIGRI [TsNIGRI Journal]. — 1984. [in Russian]
11. Kerimov R.B. Mineral'nyj sostav i geohimicheskie osobnosti rud Filfilinskogo rudoprojavlenija zolota Durudzhinskoj shovnyj zony (Azerbajdzhan) [Mineral Composition and Geochemical Features of the Ores of the Filfilinskoye Gold Ore Deposits Durudzhina Seam Zone (Azerbaijan)] / R.B. Kerimov, T.S. Gadirova et al. // Voprosy geologii i kompleksnogo osvoenija prirodnyh resursov Vostochnoj Azii. Sbornik dokladov Tre'tej Vserossijskoj nauchnoj konferencii [Collection of Reports of the Third All-Russian Scientific Conference]. — Blagoveshensk, 2014. — Vol. 1. — P. 105-106. [in Russian]
12. Kerimov R.B. Nekotorye osobnosti rudovmeshhajushhih porod Galadzhyskogo zolotorudnogo projavlenija (Azerbajdzhan) [Some Features of Ore-bearing Rocks of Galajik Gold Ore Manifestation (Azerbaijan)] / R.B. Kerimov, S.F. Velizade, Je.N. Jefendieva // Materialy mezhdunarodnoj konferencii «Zoloto Fenoskandinavskogo shhita» [Materials of the International Conference "Gold of the Fennoscandinavian shield"]. — Petrozavodsk, 2013. — P. 84-87. [in Russian]
13. Kerimov R.B. Samorodnoe zoloto: tipomorfizm mineral'nyh asociacij, uslovija obrazovaniya mestorozhdenij, zadachi prikladnyh issledovanij [Native Gold: Typomorphism of Mineral Associations, Conditions of Formation of Deposits, Tasks of Applied Research] / R.B. Kerimov. — M.: IGEM RAN, 2010. — P. 237-240. [in Russian]
14. Kurbanov N.K. Zakonomernosti razmeshhenija i uslovija lokalizacii medno-polimetallicheskih mestorozhdenij Belokano-Shekinskoj kolchedanonosnoj provincii (juzhnyj sklon Bol'shogo Kavkaza) [Laws of Placement and Conditions of Localization of Copper-polymetallic Deposits in the Belokano-Shekin Pyrite-bearing Province (Southern Slope of the Greater Caucasus)] / N.K. Kurbanov, I.M. Ibragimov // Trudy CNIGRI [Proceedings of TsNIGRI]. — 1971. — Iss. 99. — P. 160-169. [in Russian]
15. Kashkaj Ch.M. Jeksperimental'noe issledovanie processov koncentrirovaniya medi, cinka, kobal'ta, nikelja i serebra v chernyx slancah Durudzhinskoj zony Juzhnogo Sklona Bol'shogo Kavkaza (Azerbajdzhan) [Experimental Study of the Processes of Concentration of Copper, Zinc, Cobalt, Nickel and Silver in Black Shales of the Durudzhin Zone of the Southern Slope of the Greater Caucasus (Azerbaijan)] / Ch.M. Kashkaj, S.A. Zejnalova, R.V. Kerimov [et al.] // Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Geologija [Journal of the Voronezh State University. Series: Geology]. — 2017. — № 2. — P. 91-96. [in Russian]
16. Kumbazarov A.K. Termograficheskie issledovaniya povedeniya zolotonosnyh organicheskix veshhestv [Thermographic Studies on the Behavior of Gold-bearing Organic Substances] / A.K. Kumbazarov, T.U. Isakova, E.N. Moskalenko // Zapisi Uzbekskogo otdelenija VMO [Records of the Uzbek branch of the VMO]. — Tashkent, 1987. [in Russian]
17. Judovich Ya.E. Geohimija chernyx slancev [Geochemistry of Black Shales] / Ya.E. Judovich, M.P. Ketris. — L.: Nauka, 1988. — P. 272. [in Russian]