

РАЦИОНАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ СВОЙСТВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В НЕДРАХ: ОБЗОР МЕТОДОВ

METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF STUDYING THE VARIABILITY OF MINERAL PROPERTIES IN THE SUBSURFACE



Ю. В. Павленко, Забайкальский государственный университет, г. Чита
pavurva@mail.ru

Yu. Pavlenko, Transbaikal State University, Chita

Неоднородности строения недр проявляются при любых масштабах исследований, начиная от неоднородного строения обломка породы до строения земных оболочек. Объект исследования – полезные ископаемые в недрах. Предметом изучения являются природные неоднородности востребованного полезного ископаемого, которые обеспечивают получение достоверных знаний о минеральном объекте, а целью – совершенствование принципов изучения промышленно-ценных скоплений полезных ископаемых по четырём важнейшим показателям – интенсивность, экстенсивность, точность и достоверность, обеспечивающих выбор методов геолого-экономической оценки минерального объекта. Методология исследования базируется на анализе принципов и методов стадийно-системных результатов геолого-разведочных работ разнообразных видов и промышленных типов месторождений, учитывает влияние геологического строения на характеристики пространственной изменчивости свойств полезных ископаемых в недрах, позволяет повысить достоверность результатов исследований. Для выяснения природной неоднородности, изменчивости тел полезных ископаемых используются методы современной математики, теории вероятности, математической статистики. Методологические принципы и методы позволяют упростить процесс исследования, сократить затраты труда, времени и средств. Количественные характеристики изменчивости важнейших свойств полезных ископаемых решают многие вопросы методики поисков, разведки, опробования и геолого-экономической оценки месторождения. Они же определяют целесообразную степень изучения месторождения для его промышленного освоения, группу сложности геологического строения месторождения, определяют объёмы физических исследований. В статье продемонстрированы рациональные методы и практические приёмы использования разнородной выборочной информации для установления достоверных параметров полезных ископаемых. Они применимы на стадии оценки и разведки месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых

Ключевые слова: методология; научные принципы исследования; неоднородности; изменчивость; полезные ископаемые; оценка; разведка месторождений; земные оболочки; минеральный объект; промышленное освоение месторождения

Inhomogeneities in the structure of the subsurface are manifested at any scale of research, from the heterogeneous structure of a rock fragment to the structure of the earth's shells. The object of research is minerals in the subsurface. The subject of the study is the natural heterogeneities of a demanded mineral, which provide reliable knowledge about a mineral object, and the goal is to improve the principles of studying industrially valuable accumulations of minerals according to four most important indicators - intensity, extensiveness, accuracy and reliability, which provide a choice of methods for geological and economic assessment of the mineral object. The research methodology is based on the analysis of the principles and methods of the stage-systemic results of geological exploration of various types and industrial types of deposits, takes into account the influence of the geological structure on the characteristics of the spatial variability of the properties of minerals in the subsurface, and makes it possible to increase the reliability of the research results. To clarify the natural heterogeneity, variability

of mineral bodies, the methods of modern mathematics, probability theory, and mathematical statistics are used. Methodological principles and methods make it possible to simplify the research process, reduce labour costs, time and funds. The quantitative characteristics of the variability of the most important properties of minerals solve many questions of the methodology of prospecting, exploration, testing and geological and economic assessment of the deposit. They also determine the appropriate degree of study of the deposit for its industrial development, the group of complexity of the geological structure of the deposit, and determine the volume of physical research. The article demonstrates rational methods and practical techniques for using heterogeneous sample information to establish reliable parameters of minerals. They are applicable at the stage of appraisal and exploration of deposits of ore and non-metallic minerals

Key words: methodology; principles of study; heterogeneity; variability; minerals; assessment; exploration of localities; earth shells; mineral object; industrial development of the deposit

Введение. Учение о поисках и разведке полезных ископаемых является самостоятельной прикладной научной дисциплиной геологического цикла, изучающего «условия нахождения и пути наиболее эффективного выявления промышленных месторождений полезных ископаемых». Разработав поисковые геологические критерии, сгруппировав месторождения для целей разведки, создав классификацию промышленных типов месторождений, В. М. Крейтер заложил научно-методологические основы учения о полезных ископаемых, которые вместе с самим учением и нарастающими потребностями человечества в минеральном сырье постоянно совершенствуются и развиваются. На пути развития специальных знаний о природном сырье встречается много неясностей, неточностей, природных особенностей, невероятных неоднозначностей, вызывающих необходимость в уточнении представлений о природе и генезисе даже хорошо известного минерального сырья, которые необходимо учитывать в практической деятельности.

Актуальность исследования вызвана потребностью совершенствовать научные и методологические основы проведения геолого-разведочных работ как базовой дисциплины в области геологии, поисков, разведки полезных ископаемых при подготовке горных инженеров и научно-педагогических кадров высшей квалификации.

Объект исследования – полезные ископаемые в недрах.

Предмет исследования – природные неоднородности востребованного полезного ископаемого, которые обеспечивают получение достоверных знаний о минеральном объекте.

Цель исследования – совершенствование принципов изучения промышленно-цен-

ных скоплений полезных ископаемых по четырём важнейшим показателям – интенсивность, экстенсивность, точность и достоверность, которые обеспечивают выбор методов геолого-экономической оценки минерального объекта.

При этом основной задачей является степень изменчивости – сумма случайной и закономерной составляющих изменчивости.

Методология исследования – анализ принципов и методов стадийно-системных результатов геолого-разведочных работ разнообразных видов и промышленных типов месторождений, методы учёта влияния геологического строения на характеристики пространственной изменчивости свойств полезных ископаемых, позволяющих повысить достоверность результатов исследований.

Методологические принципы призваны совершенствовать методы, способы, приёмы, методики научной систематики изучения недр, обеспечивают переход научно-теоретического уровня знаний на уровень технологический. Эти принципы широко используются при изучении недр [4–7; 9; 10; 14] и по многим другим научным направлениям [1–3; 12; 13; 16; 17; 19], в том числе и за рубежом [11; 15].

Методологические задачи включают методы изучения неоднородностей земных недр, основы моделирования их строения и свойств полезных ископаемых в пределах исследуемых объёмов, поддерживающие системность научной дисциплины. При проведении геолого-разведочных работ они позволяют оценить и учесть влияние особенностей геологического строения на характеристики пространственной изменчивости свойств полезных ископаемых в недрах. По мере накопления фактического геологическо-

го материала, практического опыта проведения геолого-разведочных работ принципы и методы как составляющие научной дисциплины поисков и разведки полезных ископаемых целесообразно корректировать, уточнять, чтобы, с одной стороны, рационализировать, упростить процесс исследования и, тем самым, сократить затраты труда, времени и средств, с другой – повысить достоверность результатов исследований.

Результаты исследования и их обсуждения. Изменчивость является одним из важнейших свойств залежей полезных ископаемых. Форма, размеры, характер залегания, минеральный и химический составы, текстурно-структурные особенности, объёмная масса и многие другие параметры изменяются в разных частях даже одной залежи. Неоднородность рудных тел и вмещающих пород возникает в процессе их формирования и впоследствии может существенно изменяться в результате преобразований под влиянием процессов диагенеза, эпигенеза, метаморфизма, тектонических деформаций и др.

Неоднородность природных образований, их изменчивость определяют методику и оптимальные условия геолого-разведочных работ. Именно количественные характеристики изменчивости важнейших свойств полезных ископаемых решают многие вопросы методики поисков, разведки, опробования и геолого-экономической оценки месторождения. Они же определяют целесообразную степень изучения месторождения для его промышленного освоения, группу сложности геологического строения месторождения, определяя физические объёмы исследований.

Геологическая неоднородность, выявляемая по дискретной сети наблюдений, проявляется как совокупность случайной и неслучайной пространственной изменчивости данного свойства. По П. Л. Каллистову (1952), у изменчивости чаще различают две её стороны: характер изменчивости и интенсивность. Характер изменчивости – это её направленность, закономерность (случайность), а степень изменчивости – размах колебаний анализируемых величин (содержаний различных компонентов, мощности тел и т. д.). Понятие изменчивости свойств полезных ископаемых ещё не приобрело вполне законченного определения и различными исследователями трактуется по-разному. Так,

Д. А. Зенков (1962) выделяет следующие изменчивости:

- 1) плавную, непрерывную, закономерную;
- 2) плавную, непрерывную, не закономерную;
- 3) прерывистую, скачкообразную, закономерную;
- 4) прерывистую, скачкообразную, не закономерную.

При случайной изменчивости изучаемого признака его значения в смежных точках не зависят ни друг от друга, ни от расстояний между точками. По всем направлениям значения имеют характер случайных беспорядочных положительных и отрицательных колебаний величины параметра, сменяющихся в каждом пункте, реже – через несколько соседних пунктов. Случайная изменчивость может быть количественно охарактеризована различными методами. Случайная изменчивость оказывает непосредственное влияние на статистическую оценку средних характеристик изучаемого свойства, определяя число наблюдений, необходимое для достижения желаемой достоверности средних оценок.

Ещё больше расходятся мнения специалистов о количественном выражении характеристик изменчивости свойств тела полезного ископаемого. Несмотря на разногласия, почти все построения основываются на теории вероятности и математической статистике, т.е. на анализе случайных, функционально не связанных величин. Основным средством количественного выражения изменчивости свойств тела полезного ископаемого является коэффициент вариации (V). Он определяется как отношение среднеквадратического отклонения результатов ряда измерений величины M (мощности тела, содержания металла, объёмной массы и т. п.) к среднему арифметическому (M_{cp}), вычисленному для этого же ряда, и выражается большей частью в процентах.

В практике разведочного дела определение количества наблюдений (n) связано со значительными трудностями, т.к. статистическое распределение значений какого-либо свойства полезного ископаемого в большинстве случаев не следует закону нормального распределения (кривой Гаусса). Обычно статистическое распределение содержания полезного компонента в рудах

отличается резкой асимметрией относительно среднего содержания ($n = 45$). Как отмечает П. Л. Каллистов (1952), равновероятные положительные и отрицательные ошибки не равновелики, а равновеликие ошибки не равновероятны. Кроме того, при асимметричном распределении количества положительных и отрицательных отклонений признаки неодинаковы. Все это не позволяет непосредственно использовать существующие формулы (или таблицы) нормального интеграла вероятностей, хотя в практике разведки известны случаи полного подчинения закону Гаусса (например, опробование руды в вагонах). Во многих же других случаях коэффициентом вариации целесообразно пользоваться для ориентировочных суждений.

Наблюдаемая в геолого-разведочной практике случайная изменчивость свойств является результатом неполноты знаний на данной стадии изучения объекта. Эта изменчивость оказывает непосредственное влияние на статистическую оценку средних характеристик изучаемого свойства, определяет число наблюдений, необходимое для достижения желаемой достоверности средних ошибок.

Наиболее важна закономерная (неслучайная) изменчивость, которая позволяет оценить характер анизотропии рудного тела и выдержанность его свойств по различным направлениям. Её характеристика служит основой для ориентировки сети наблюдений и выбора расстояний между смежными точками по каждому из наблюдаемых направлений.

По Л. Четверикову [18], анизотропия тел полезных ископаемых проявляется в том, что неслучайная изменчивость изучаемого свойства оказывается различной в разных направлениях; обычно максимальная изменчивость наблюдается по направлению мощности залежей, а минимальная – по простиранию. Анизотропия проявляется в результате упорядоченности пространственного размещения геолого-структурных элементов – зёрен, минералов, минеральных агрегатов, скопленных полезного ископаемого, часто контролируемых слоистостью, сланцеватостью, трещиноватостью и прочими элементами вмещающих пород.

Понятие анизотропии имеет статистический смысл, т.к. она оценивает неслучайную изменчивость строения полезного ископаемого в среднем по заданному направлению.

Одним из показателей степени анизотропии может служить величина $A_o = J_{\max} / J_{\min}$, представляющая отношение «длин» большой оси (J_{\max}) и малой оси (J_{\min}) анизотропии, выраженных в условных единицах. Каждая из осей определяется как отношение среднего числа элементов неоднородности N , пересекаемых линиями, проведёнными в заданном направлении, к средним длинам этих линий \bar{l} в пределах изучаемого объёма полезного ископаемого: $J = N / \bar{l}$.

Наиболее широко распространены три главных направления анизотропии, которые часто совпадают с направлениями мощности, падения и простирания. По этим направлениям наблюдаются наиболее значительные различия количественных характеристик неслучайной изменчивости изучаемых свойств. В соответствии с основными морфологическими типами тел полезных ископаемых выделяются три типа анизотропии.

К первому типу относятся тела, имеющие три взаимно ортогональных оси анизотропии. Это пласты, жилы, лентообразные, линзообразные тела, россыпи, у которых ось максимальной изменчивости совпадает с направлением мощности, а ось минимальной изменчивости – с направлением простирания.

Ко второму типу относятся тела, имеющие две оси анизотропии. В этом типе выделяется два подтипа:

- 1) тела трубообразной формы;
- 2) изометричные в плане сплюснутые, линзообразные тела.

В обоих подтипах всегда можно видеть круговое сечение, перпендикулярное либо длинной (у труб), либо самой короткой (линзы) оси залежи. Плоскость кругового сечения образуется одним из направлений анизотропии. Другое направление совпадает с осью трубы или линзы. В сплюснутых телах — это направление максимальной изменчивости (мощность); в вытянутых трубообразных телах это ось минимальной изменчивости.

К третьему типу относятся тела, имеющие одну ось анизотропии, точнее – тела практически изотропные, в которых изменчивость в разных направлениях почти одинакова. Это изометричные штокверки, тела штокообразной формы с концентрически-зональным строением.

Для большинства месторождений, рудных залежей характерно совпадение типов анизотропии на разных структурных уровнях.

Например, анизотропия строения рудной зоны может не совпадать с анизотропией входящих в её состав и различно ориентированных рудных тел. А поскольку характеристики анизотропии являются основой для выбора рациональной геометрии разведочной сети, то нередко возникают ситуации, когда переход на более детальный уровень разведки требует изменения ориентировки разведочной сети.

Важной задачей определения морфологии, размеров месторождения является выяснение структуры месторождения – черт, которые часто определяют ход и результаты разведочного процесса. К ним относятся до-рудные складчатые и разрывные нарушения, внутри- и послерудные нарушения, условия локализации рудных столбов, фациальные изменения вмещающих пород, влияющие на морфологию и пространственное распределение полезного ископаемого, характер контактов рудных тел и др. Все эти вопросы детально рассматриваются в учении о месторождениях полезных ископаемых.

Большинство месторождений полезных ископаемых представлено телами с двумя длинными размерами и одним коротким (пласты, линзы, жилы). Изменчивость морфологических свойств подобных месторождений обычно носит плавный и непрерывный характер. Изменения мощности, за исключением резких тектонических разрывов, могут относиться к направленным, т. е. к связанным определённой зависимостью. В случае закономерной изменчивости нет необходимости прибегать к математической статистике для выяснения интенсивности изменчивости.

Нередко тела полезного ископаемого пережимаются, т. е. их мощность на каком-то интервале уменьшается до нуля. Часто месторождения представлены серией параллельных кулисообразных рудных тел или группой мелких линз и гнёзд, разделённых более или менее значительными интервалами пустых пород. Таким образом, во многих случаях отсутствует непрерывность промышленной минерализации. В связи с этим возникло понятие о степени прерывистости минерализации, которую В. И. Бирюков предложил выражать коэффициентом прерывистости.

На практике пользуются коэффициентом рудоносности (y), который определяется как отношение суммы площадей, занятых

промышленной минерализацией (s), ко всей площади месторождения (S), или отношением суммы длин выработок с промышленной минерализацией (l) к длине всех выработок (L).

Качество полезного ископаемого обычно определяется двумя видами показателей – содержанием полезных компонентов, их вредных примесей и физическими свойствами. Содержания полезных ископаемых выражаются следующим образом: в процентах (содержание элементов, окислов или минералов), в граммах на тонну, в граммах на кубический метр, качественные показатели физических свойств – размерами кристаллов или моноблоков, значениями твёрдости, хрупкости, вязкости, эластичности, гибкости, крепости, морозостойкости, влагоёмкости, кусковатости, удельного и объёмного веса и пр. Минеральное топливо часто оценивается по теплотворной способности (калорийности). Большая часть руд полезных ископаемых представляет собой комплексное минеральное сырьё. Поэтому и исследования минерального сырья должны быть комплексными. Особое внимание привлекают редкие элементы.

Большинство месторождений имеет неоднородное строение. Причины неоднородности заключаются в их генетических особенностях, порождающих зональность, изменчивость качества и др. Целесообразно различать два вида зональности: первичную, обусловленную особенностями процесса формирования месторождения, и вторичную, вызванную экзогенными процессами окисления, выщелачивания и переотложения элементов и соединений, слагающих месторождение. От текстурных особенностей минерального сырья зависит не только выбор способа опробования, но и методика его испытания.

По всем этим показателям оцениваются характер и степень изменчивости качества полезного ископаемого. На разведочной стадии эти показатели иногда значительно важнее данных о изменчивости морфологии рудных тел.

Изменчивость качества полезного ископаемого характеризуется коэффициентом корреляции. Он оценивает степень согласованности изменений двух любых признаков: содержания различных металлов в рудах или содержания полезного компонента и какого-либо физического свойства или качества и формы. Наличие корреляционных связей,

например, между содержанием свинца и серебра в полиметаллических рудах позволяет с помощью коэффициента корреляции достаточно точно подсчитать запасы серебра в зависимости от запасов свинца, резко сократив число дорогостоящих химических анализов на серебро. Эта же зависимость помогает решать вопросы технологической переработки полиметаллической руды.

Анизотропия любого порядка, любого показателя выявляется только рациональными методами опробования и размерами пробы; все исходные данные математических расчётов являются результатами качественного опробования. Это обстоятельство осложняет изучение анизотропии по результатам геолого-разведочных работ, так как сплошное изучение и опробование минеральных скоплений проводится не по всем направлениям, а только по направлению их мощности. Чем выше природная неоднородность строения полезных ископаемых, тем труднее выявляются закономерности пространственного размещения изучаемых признаков. С увеличением расстояний между пунктами наблюдений эти закономерности не улавливаются, а с уменьшением – проявляются всё отчётливее. Аналогичная тенденция наблюдается и при увеличении размеров или объёмов проб.

Статистические методы изучения изменчивости месторождений. В качестве количественной характеристики признака (мощности, содержаний компонентов и т. д.) при разведке и подсчётах запасов принято использовать среднеарифметическую величину этого признака (например, содержания полезного компонента)

$$C = \sum c_i / n,$$

где c_i — содержание полезного компонента в i -й пробе;

n — количество проб.

Мерой степени изменчивости этого признака в статистике принято среднеквадратичное отклонение

$$s = \sqrt{\frac{\sum (c_i - c)^2}{n - 1}}.$$

Для сравнения степени изменчивости залежи по различным признакам в разведочной практике широко используется коэффициент вариации V , который показывает отношение степени изменчивости исследуемого

признака S к среднеарифметическому его значению C , выраженное в процентах

$$V = S / C \cdot 100 \%$$

Важной статистической характеристикой является абсолютная величина ошибки вывода среднеарифметического значения признака по данным n наблюдений:

$$\delta = S / \sqrt{n}.$$

Коэффициент вариации широко применяется в разведочном деле как показатель степени изменчивости содержаний полезных компонентов при отнесении месторождений к той или иной группе; в качестве основы для определения необходимого числа проб (наблюдений) при оценке средней величины исследуемого признака (содержания, мощности). Зная V , можно определить относительную величину погрешности среднего $P = V \cdot t / \sqrt{n}$ для грубого определения расстояний между пробами.

Основные свойства коэффициента вариации сводятся к следующему:

- он не учитывает расположения проб в пространстве, эта абстрактная характеристика отражает степень изменчивости, но не её характер. Представления о характере изменчивости дают соответствующие графики;

- величина коэффициента вариации зависит от размера проб и способа их отбора: чем больше объем и масса проб, тем ниже коэффициент вариации;

- коэффициент зависит от ориентировки линии отбора проб (относительно осей анизотропии), кроме того, значения его различны для разных участков месторождения.

Таким образом, отношения величин коэффициентов вариации по линиям отбора проб, совпадающим с направлениями максимальной и минимальной изменчивости, соответствуют в известной степени показателям анизотропии. Эти отношения могут учитываться при определении геометрии разведочной сети.

Определяющим фактором выбора плотности наблюдений при разведке пластообразных залежей полезных ископаемых месторождений второй группы по сложности геологического строения являются:

- изменчивость качественной характеристики пластов, морфологии тел полезного ископаемого;

– условия залегания и степень устойчивости элементов залегания тел минерального сырья.

Обоснование вида и плотности разведочной сети выполняется на эталонном участке аналитическим методом, способом разряжения и их комбинацией, из которых следует:

– по распределению полезных компонентов сырья относится к неравномерным непрерывным или прерывистым по кондициям;

– по мощности полезное ископаемое относительно устойчиво или неустойчиво;

– решающее значение в пологоскладчатом многослойном залегании полезного ископаемого различной степени сплошности принадлежит складкам с размахом крыльев 100...170 м и протяжённостью 100...500 м;

– среди минеральных тел (60 залежей, линз) преобладают площадью 10...50 тыс. м², разведка которых по промышленным категориям целесообразна;

– изменчивость параметров по простиранию и падению практически одинакова;

– линзы, вскрытые 5...6 равномерно расположенными выработками, позволяют подсчитать запасы полезного ископаемого с точностью 31...35 %, а тремя выработками – 48 %. Исходя из этих особенностей, рационально разведывать запасы категории В по сети 100x100 м, С₁ – 200x200 м, С₂ – 400x400 м. При данной разведочной сети точность подсчёта запасов минеральных тел площадью более 50 тыс. м² существенно возрастает.

Заключение. Методологические принципы и критерии изучения недр относятся к числу стратегических направлений в познании систем многоуровневой неоднородности вещества Земли. В статье продемонстрированы рациональные методы и практические приёмы использования разнородной выборочной информации для установления достоверных параметров востребованной неоднородности, которой являются полезные ископаемые. Они применимы на стадии оценки и разведки месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых.

Список литературы

1. Бахтина И. Л., Лобут А. А., Мартюшов Л. Н. Методология и методы научного познания. Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т, 2016. 119 с.
2. Берёзкин Ю. М. Методология научных исследований (деятельностный подход). Иркутск: Изд-во БГУ, 2016. 198 с.
3. Ерёмин А. Д. История, философия и методология естествознания: в 3 т. Т. 3. Анализ понятий и концепций. Саров: СарФТИ, 2019. 36 с.
4. Ермолов В. А. Геология. Разведка и геолого-промышленная оценка месторождений полезных ископаемых. М.: Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2017. Ч. 2. 405 с.
5. Каждан А. Б. Методологические основы разведки месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1974. 271 с.
6. Каждан А. Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Научные основы поисков и разведки. М.: Недра, 1984. – 285 с.
7. Каждан А. Б., Гуськов О. И. Математические методы в геологии. М.: Недра, 1990. 251 с.
8. Марков К. А., Михайлов Б. М., Предтеченский Н. Н. Критерии прогнозной оценки территорий на твёрдые полезные ископаемые / под ред. Д. В. Рундквиста. Ленинград: Недра, 1978. 607 с.
9. Милютин А. Г. Разведка и геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых. URL: <http://metodichka.x-pdf.ru/15ekonomika/634599-4> (дата обращения: 08.11.2020). Текст: электронный.
10. Никулин Ю. В. Методы и автоматизация подсчёта запасов месторождений полезных ископаемых с использованием информационных технологий. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/> (дата обращения 10.08.2019). Text: electronic.
11. Паттон М. К. Качественные методы исследования и оценки. 3-е изд. Таузенд-Оукс, Калифорния: Sage Publications, 2002.
12. Расторгуев С. В., Брега А. В., Кафтан В. В., Помигуев И. А., Сучилина А. А. Теория и методология политической науки. М.: КноРус, 2019. 216 с.
13. Розин В. М., Швырёв В. С., Голдберг Ф. И., Бернштейн В. С. Методология // Гуманитарная энциклопедия: Концепты. URL: <https://gtmarket.ru/concepts/6870> (дата обращения: 08.11.2020). Текст: электронный.
14. Семинский Ж. В., Мальцева Г. Д., Семейкин И. Н., Яхир М. В. Геология и месторождения полезных ископаемых. 2-е изд. М.: Юрайт, 2018. 348 с.

15. Сильверман Дэвид. Качественные исследования: вопросы теории, метода и практики. 3-е изд. Лондон, Таузенд Оукс, Нью-Дели, Сингапур: Sage Publications; М.: КноРус, 2019. 216 с.
16. Слесаренко Н. А., Борхунова Е. Н., Борунова С. М. Методология научного исследования. 5-е изд., стер. СПб.: Лань, 2021. 268 с.
17. Ушаков Е. В. Философия и методология науки. М.: Юрайт, 2017. 392 с.
18. Четвериков Л. И. Теоретические основы разведки недр. М.: Недра, 1984. 160 с.
19. Шкляр М. Ф. Основы научных исследований. М.: Дашков и К, 2017. 208 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/93545> (дата обращения: 08.11.2020). Текст: электронный.

References

1. Bakhtina I. L., Lobut A. A., Martyushov L. N. *Metodologiya i metody nauchnogo poznaniya* (Methodology and methods of scientific knowledge). Yekaterinburg: Ural State Pedagogical University, 2016, 119 p.
2. Berozkin YU. M. *Metodologiya nauchnyh issledovaniy (deyatelnostny podkhod)* (Methodology of scientific research (activity approach)). Irkutsk: Publishing house of the Baikal State University, 2016, 198 p.
3. Yeromin A. D. *Istoriya, filosofiya i metodologiya yestestvoznaniya: v 3 t. T. 3. Analiz ponyatij i kontseptsij* (History, philosophy and methodology of natural science: in 3 volumes. V. 3. Analysis of concepts and concepts). Sarov: Sarov. Physico-Technical University, 2019, 36 p.
4. Yermolov V. A. *Geologiya. Razvedka i geologo-promyshlennaya otsenka mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh* (Geology. Exploration and geological-industrial evaluation of mineral deposits). Moscow: Publishing house Mosc. State Mining un-ty, 2017. Ch. 2, 405 p.
5. Kazhdan A. B. *Metodologicheskiye osnovy razvedki mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh* (Methodological foundations of exploration of mineral deposits). Moscow: Nedra, 1974. 271 p.
6. Kazhdan A. B. *Poiski i razvedka mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh. Nauchnye osnovy poiskov i razvedki* (Search and exploration of mineral deposits. Scientific foundations of search and exploration). Moscow: Nedra, 1984, 285 p.
7. Kazhdan A. B., Guskov O. I. *Matematicheskiye metody v geologii* (Mathematical methods in geology). Moscow: Nedra, 1990, 251 p.
8. Markov K. A., Mikhaylov B. M., Predtechensky N. N. *Kriterii prognoznoy otsenki territoriy na tvordyye poleznye iskopayemye* (Criteria for predictive assessment of territories for solid minerals / ed. D. V. Rundqvist). Leningrad: Nedra, 1978, 607 p.
9. Milyutin A. G. *Razvedka i geologo-ekonomicheskaya otsenka mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh* (Exploration and geological and economic assessment of mineral deposits). Available at: <http://metodichka.x-pdf.ru/15ekonomika/634599-4> (date of access: 08.11.2020). Text: electronic.
10. Nikulin Yu. V. *Metody i avtomatizatsiya podschota zapasov mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh s ispolzovaniyem informatsionnykh tehnologiy* (Methods and automation of calculating the reserves of mineral deposits using information technologies). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/> (date of access: 08.10.2020). Text: electronic.
11. Patton M. K. *Kachestvennyye metody issledovaniya i otsenki. 3-ye izd* (Qualitative methods of research and evaluation. 3rd ed.). Thousand Oaks, California: Sage Publications, 2002.
12. Rastorguyev S. V., Brega A. V., Kaftan V. V., Pomiguyev I. A., Suchilina A. A. *Teoriya i metodologiya politicheskoy nauki* (Theory and methodology of political science). Moscow: KnoRus, 2019, 216 p.
13. Rozin V. M., Shvyrov V. S., Goldberg F. I., Bernshteyn V. S. *Gumanitarnaya entsiklopediya: Kontsepty* (Humanitarian encyclopedia: Concepts). Available at: <https://gtmarket.ru/concepts/6870> (date of access: 11/08/2020). Text: electronic.
14. Seminsky Zh. V., Maltseva G. D., Semeykin I. N., Yakhir M. V. *Geologiya i mestorozhdeniya poleznykh iskopayemykh. 2-e izd.* (Geology and mineral deposits. 2nd ed.). Moscow: Yurayt, 2018, 348 p.
15. Silverman David *Kachestvennyye issledovaniya: voprosy teorii, metoda i praktiki. 3-ye izd.* (Qualitative research: questions of theory, method and practice. 3rd ed.). London, Thousand Oaks, New Delhi, Singapore: Sage Publications; Moscow: KnoRus, 2019, 216 p.
16. Slesarenko N. A., Borkhunova Ye. N., Borunova S. M. *Metodologiya nauchnogo issledovaniya. 5-ye izd., ster.* (Methodology of scientific research. 5th ed., Erased). St. Petersburg: Lan, 2021, 268 p.
17. Ushakov Ye. V. *Filosofiya i metodologiya nauki* (Philosophy and methodology of science. Moscow: Yurayt, 2017, 392 p.
18. Chetverikov L. I. *Teoreticheskiye osnovy razvedki nedr* (Theoretical Foundations of Mineral Exploration). Moscow: Nedra, 1984, 160 p.
19. Shklyar M. F. *Osnovy nauchnykh issledovaniy* (Fundamentals of scientific research). Moscow: Dashkov and K, 2017, 208 p. Available at: <https://e.lanbook.com/book/93545> (date of access: 11.08.2020). Text: electronic.

Информация об авторе

Information about the author

Павленко Юрий Васильевич, д-р геол.-минерал. наук, профессор, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: мелко-среднемасштабное геологическое картирование, прогнозирование, поиски, разведка месторождений
pavurva@mail.ru

Yuriy Pavlenko, doctor of geological mineralogical sciences, professor, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: small-medium-scale geological mapping, forecasting, prospecting, exploration of deposits

Для цитирования

Павленко Ю. В. Рациональные методы изучения изменчивости свойств полезных ископаемых в недрах: обзор методов // Вестник Забайкальского государственного университета. 2021. Т. 27, № 6. С. 6–14. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-6-6-14.

Pavlenko Yu. Methodological principles of studying the variability of mineral properties in the subsurface // Transbaikal State University Journal, 2021, vol. 27, no. 5, pp. 6–14. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-6-6-14.

Статья поступила в редакцию: 08.06.2021 г.
Статья принята к публикации: 02.07.2021 г.