

ЭКОНОМИКА, ПОЛИТИКА, СОЦИУМ И КУЛЬТУРА ECONOMICS, POLITICAL SCIENCE, SOCIETY AND CULTURE

УДК 622.013:553.3.072

DOI статьи: 10.17238/issn2221-2698.2017.26.5

Оценка эффективности освоения перспективных месторождений меди и золота Красноярского Севера¹



© **Брагин Виктор Игоревич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой обогащения полезных ископаемых Института цветных металлов и материаловедения. E-mail: vic.bragin@gmail.com
Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.

© **Мацко Наталья Аркадьевна**, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института системного анализа РАН. E-mail: ipiran@ipiran.ru

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН.



© **Харитоновна Маргарита Юрьевна**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института химии и химической технологии. E-mail: margaret.ok@yandex.ru

Сибирское отделение Российской академии наук.



Аннотация. В статье изложен вероятностный подход к оценке доступности месторождений полезных ископаемых. Подход специально разработан для

начальной стадии оценки ресурсов и запасов низких категорий разведанности. В качестве исходных данных используются наиболее значимые параметры месторождения, которые можно обосновать более или менее объективно — содержание полезных компонентов в руде, объемы запасов руды, коэффициент вскрыши, способ отработки. Представлены результаты предварительной экономической оценки эффективности освоения прогнозируемых месторождений золота и меди Красноярского Севера. Установлена экономическая целесообразность освоения месторождений золота — Нижнелиткинское, Грозненское, Жильное. Освоение месторождений меди признано нецелесообразным.

Ключевые слова: минерально-сырьевые ресурсы, эффективность добычи, вероятность освоения, медно- и золоторудные месторождения

Estimation of efficiency of development of copper and gold deposits of Krasnoyarsk North

© **Viktor I. Bragin**, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of the Department of enrichment of minerals of Institute of non-ferrous metals and materials science. E-mail: vic.bragin@gmail.com
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

© **Natalya A. Matsko**, Dr. Sci. (Tech.), Professor, leading researcher of Institute of system analysis of RAS. E-mail: ipiran@ipiran.ru

Federal research center "Informatics and Management", Russian Academy of Sciences.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ и краевого государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках научно-исследовательского проекта «Разработка долгосрочных сценариев и организационно-экономических механизмов развития Арктической зоны Красноярского края и оценка их влияния на социально-экономическое состояние и динамику Красноярского края» (проект №16-12-24007).

© **Margarita J. Kharitonova**, Cand. Sci. (Tech.), senior research associate of Institute of chemistry and chemical technology. E-mail: margaret.ok@yandex.ru
Siberian branch, Russian Academy of Sciences.

Abstract. The article presents the probable approach to the assessment of the availability of the mineral deposits. This approach is specially created for initial estimation of resources and reserves of low degree of exploration. The most significant parameters of a deposit are used as the initial data, which can be proved more or less objectively. These parameters are valuable components in ore, volumes of ore reserves, strip ratio, mining technology. The results of preliminary economic estimation of efficiency of development of predicted gold and copper deposits of the Krasnoyarsk North are presented. Economic efficiency of development of gold deposits Nizhnelitkinskoye, Groznenskoye, Zhilnoye is estimated. The development of copper deposits is considered to be inexpedient.

Keywords: *raw material resources, mining operations efficiency, probability of development, copper deposits, gold ore deposits*

С развитием эффективности разработки потенциально привлекательных месторождений полезных ископаемых, с развитием системы лицензирования недропользования и увеличением доли частных инвесторов в отечественном минерально-сырьевом комплексе возрастает потребность в инструментарию экспресс-оценки месторождений полезных ископаемых, который бы позволял оперативно, без трудоёмких расчётов, привлечения широкого круга специалистов и использования большого объёма исходной информации выполнять оценку. Особенно такие методы востребованы для оценки эффективности освоения месторождений на ранних стадиях изучения запасов.

На точность таких оценок прогнозной эффективности освоения месторождений влияют, с одной стороны, обычно невысокая степень достоверности геологической информации о размерах и качестве запасов, с другой стороны, недостаточно обоснованная и субъективная экономическая информация о прогнозных затратах на добычу и переработку полезных ископаемых. Субъективная — в силу того, что не существует формализованных методов выбора месторождения-аналога. Другими словами, поскольку не существует двух одинаковых месторождений и не существует методики приведения их к «сопоставимому виду», выбор разрабатываемого месторождения в качестве аналога для оценки затрат на перспективном месторождении будет зависеть от опыта эксперта и потому всегда будет субъективным. Кроме того, прогнозные затраты на разработку нового месторождения, полученные методом аналогии, не всегда достаточно обоснованы, поскольку информация о фактических затратах предприятий, связанная с их коммерческими интересами, зачастую недоступна и недостоверна.

Кроме того, на эффективность освоения месторождений оказывают влияние факторы, не связанные напрямую с параметрами разработки конкретных запасов, а характеризующие общие условия недропользования и особенности инвестиционного климата в регионе. Эти

факторы зачастую не удаётся учесть даже на стадии выполнения технико-экономического обоснования разработки месторождений.

Предлагаемый авторами метод позволяет выполнять оценку вероятности вовлечения месторождений в разработку, исходя из имеющейся геологической информации о размерах и качестве запасов совокупности месторождений данного генетического типа региональной минерально-сырьевой базы. С использованием кривой пороговой доступности (граничной вероятности) могут быть получены расчётные значения удельных эксплуатационных затрат на разработку месторождений, находящихся на границе рентабельности. Это своего рода аналог предельно допустимых, замыкающих затрат, позволяющий выполнять оценку затрат для месторождений данного генетического типа данной сырьевой базы. Кроме того, предложенный метод позволяет учитывать не только ценность отдельных месторождений, но и эффекты их взаимовлияния, а также различные, в том числе неформализуемые социально-экономические факторы, поскольку оценка вероятности вовлечения в разработку конкретного месторождения осуществляется на фоне других разрабатываемых и резервных месторождений региона.

Представляется, что разработанный метод может внести существенный вклад в методологию оценки эффективности освоения в условиях ограниченности исходных данных и их невысокой точности на ранних стадиях изучения недр.

Суть подхода в следующем: на основании данных Государственного баланса месторождений полезных ископаемых строятся диаграммы «запасы — содержание» по промышленным типам месторождений для данного региона с выделением резервных и находящихся в эксплуатации объектов. Выделяются осваиваемые и резервные месторождения. С использованием процедуры логит-регрессии определяется функция принадлежности объектов к классам разрабатываемых и неразрабатываемых, то есть определяется вероятность вовлечения месторождений в разработку (P) в зависимости от размеров запасов и содержания полезных компонентов в руде (1).

$$P = \frac{\exp(b_0 + b_1 \lg \alpha + b_2 \lg S)}{1 + \exp(b_0 + b_1 \lg \alpha + b_2 \lg S)}, \quad (1)$$

где b_i — коэффициенты модели; α — содержание полезного компонента в руде (для комплексных руд — эквивалентное содержание полезных компонентов), д.ед.; S — запасы руды, тыс.т.

Коэффициенты модели b_i определяются статистически на основе анализа распределения разрабатываемых и неразрабатываемых месторождений в рамках конкретной региональной сырьевой базы.

Возможности использования подхода рассмотрены в [1, Kharitonova, M.J., Matsko, N.A., Mikhaïlov, A.G; 2, Харитонов М.Ю., Мацко Н.А.]. В данной статье приводятся результаты его применения к оценке эффективности освоения медьсодержащих и золотосодержащих месторождений Красноярского Севера.

Золотосодержащие месторождения

С помощью *вероятностного* подхода выполнена предварительная экономическая оценка эффективности освоения золотосодержащих объектов Севера Красноярского края, исходя из величины запасов, содержания, рыночной конъюнктуры, современного состояния сырьевой базы золота в регионе. Оценивались наиболее перспективные прогнозируемые месторождения, расположенные на юго-востоке острова Большевик. Рудопроявления и зоны золотой минерализации на о-ве Большевик связаны с кварцевыми жилами, кварц-карбонатными брекчиями, пиритизированными ожелезненными песчаниками. Золото преимущественно малосульфидного золото кварцевого и сульфидного типов [3, Самойлов А.Г., Ванюнин Н.В., Тимкин С.Б].

Как видно из диаграммы «запасы — содержание», построенной для месторождений золота Красноярского края с открытым способом разработки (рис. 1), месторождения коренного золота Грозненское, Нижнелиткинское, Жильное являются богатыми и по основным характеристикам значительно превосходят остальные. Для оценки вероятности освоения этих месторождений прогнозные ресурсы были переведены к условной категории C_1 с помощью коэффициентов, разработанных Роснедра. Расчётная вероятность вовлечения этих месторождений составила 0,9, что существенно превосходит значения для других резервных месторождений Красноярского края (таб. 1). Оценка затрат на разработку изучаемых месторождений, выполненная с использованием показателя вероятности освоения, показала, что удельные эксплуатационные затраты на грамм золота составляют 5,6\$/г (Грозненское), 7,8\$/г (Нижнелиткинское), 9,3 \$/г (Жильное). Это позволит достичь эффективности освоения (как отношение цены к себестоимости) 8; 5,8 и 4,8, что выше средних показателей по производству золота в крае.

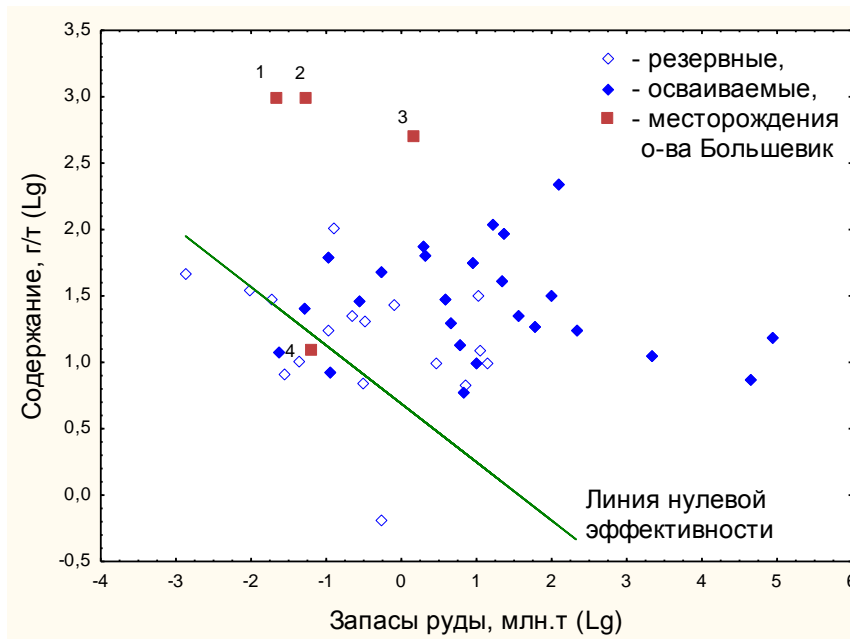


Рисунок 1. Диаграмма «запасы — содержание» для золоторудных месторождений Красноярского края.
1 — Жильное, 2 — Нижнелиткинское, 3 — Грозненское, 4 — Извилистое

В результате моделирования установлено, что освоение месторождения Извилистое, оценка запасов руды которого после пересчёта прогнозных ресурсов составила 0,3 млн. т. при содержании золота в добываемой руде 3 г/т, нерентабельно. Прогнозная эффективность разработки запасов (отношение цены на золото к удельным эксплуатационным затратам на разработку) <1, чистый доход отрицательный, затраты не окупятся. На диаграмме «запасы — содержание» (рис. 1) точка, соответствующая этому месторождению, находится ниже линии нулевой эффективности.

Таблица 1

Прогнозная эффективность добычи золота на о. Большевик*

Показатель	Грозненское	Нижнелиткинское	Жильное	Извилистое
Содержание, г/т	15	20	20	3
Запасы руды, млн. т	1,167	0,281	0,188	0,3
Срок обеспеченности запасами, лет	7	5	4	5
Вероятность освоения, д.е.	0,96	0,93	0,89	0,21
Годовая производительность по руде, тыс.т.	172	59	43	62
Эффективность, д.е.	8,01	5,8	4,8	0,89
Эксплуатационные затраты на грамм золота, \$/г	5,6	7,8	9,3	50,4
Эффективные запасы, т	15330	4647	2971	-

*В расчётах использовались коэффициенты приведения прогнозных ресурсов к запасам условной категории C₁, рекомендуемые Роснедра для всех рудных полезных ископаемых (P₁ — 0,25; P₂ — 0,125; P₃ — 0,0625)².

² Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Приказ об утверждении методики по определению стартового размера разового платежа за пользование недрами от 30 сентября 2008 г. - № 232.

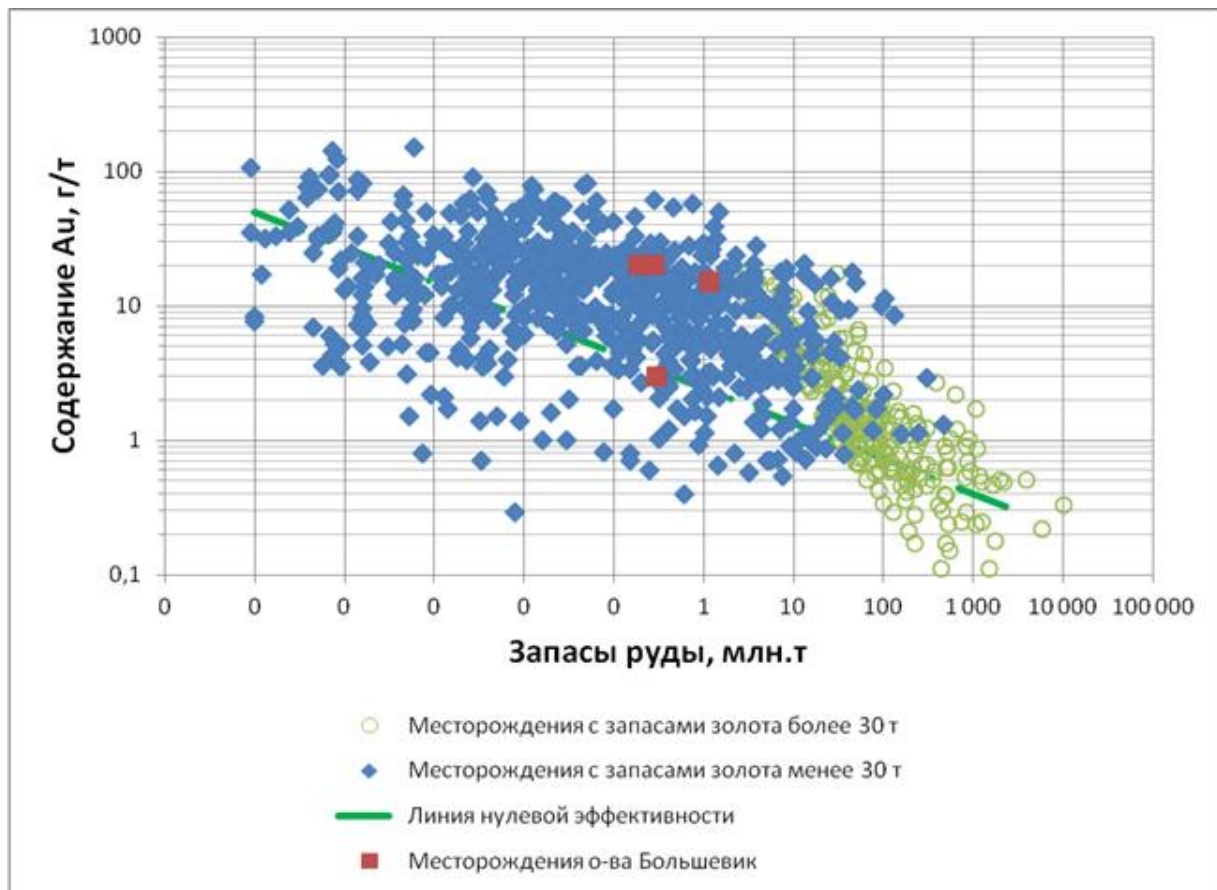


Рисунок 2. Золоторудные месторождения о. Большевик и малосульфидные жильные месторождения мира

Учитывая, что уровень доходности, при котором месторождения вовлекаются в разработку в различных регионах и странах, неодинаков, интересно посмотреть, как выглядят месторождения золота острова Большевик на фоне аналогичных месторождений мира. Сравнительная характеристика (рис. 2) показала, что по запасам золота месторождения Грозненское, Нижнелиткинское и Жильное не относятся к крупным. Однако их основные характеристики (запасы и качество руды) не уступают большинству жильных месторождений мира, и можно говорить о высокой вероятности вовлечения их в разработку. Запасы месторождения Извилистое значительно ниже по содержанию и на фоне мировых являются гранично-эффективными. Учитывая тот факт, что в России требования бизнеса к доходности проектов значительно выше, чем в других странах, освоение его в ближайшее время вряд ли возможно.

Медьсодержащие месторождения

Оценка прогнозируемых медьсодержащих месторождений Таймыра выполнена с использованием вероятностного подхода путём моделирования вероятности освоения (формула 1). На рис. 3 приведена диаграмма для меднорудных месторождений России. Поскольку около половины месторождений по своему составу являются комплексными и в качестве

попутных компонентов содержат другие цветные и драгоценные металлы, на оси ординат показано эквивалентное содержание меди, которое рассчитывалось с учётом содержания и цены попутных полезных компонентов.

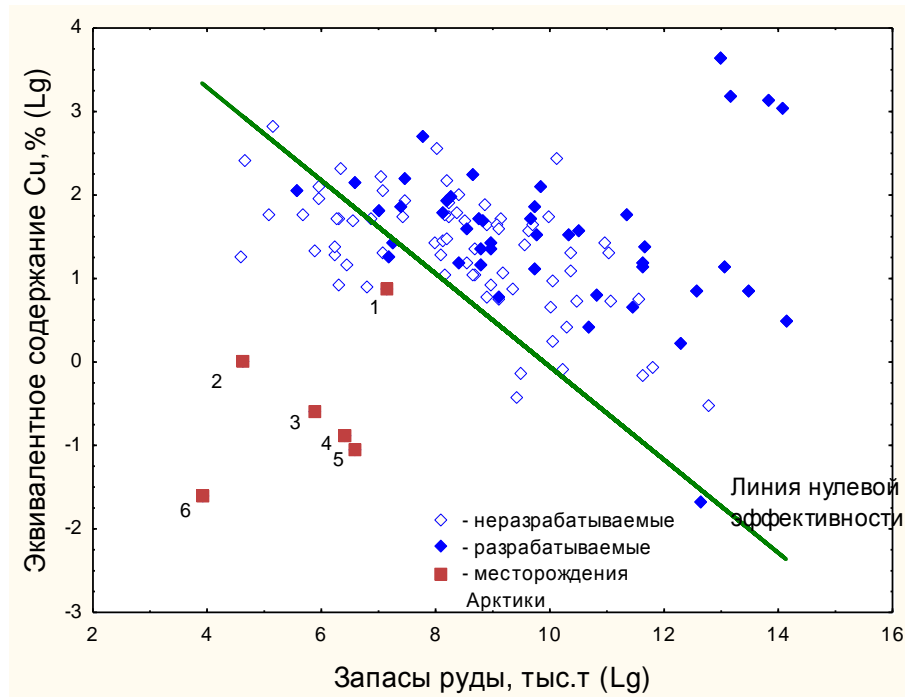


Рисунок 3. Медьсодержащие месторождения России. 1 — Гравийское, 2 — Сухаринское, 3 — Имангдинское, 4 — Арылахское, 5 — Икэченское, 6 — Порфиоровое.

Исследовались следующие прогнозируемые медьсодержащие месторождения Красноярского Севера: Гравийское (северо-восточнее г. Игарка), Сухаринское (нижнее течение р. Енисей, р. Сухариха), Икэченское (р. Кулюмбэ), Арылахское (верхнее течение р. Пясины), Порфиоровое (на северо-востоке Горного Таймыра), Имангдинское (юго-восточнее оз. Мелкое, р. Имангда). Эти месторождения на диаграмме «запасы — содержание» (рис. 3) находятся ниже линии нулевой эффективности, имеют вероятность освоения ниже граничной для данного вида сырья (граничная вероятность освоения 0,182). Оценка эффективности разработки приведена в таб. 2. Эффективность освоения, подсчитанная как отношение цены готовой продукции к эксплуатационным затратам, у всех оцениваемых месторождений меньше единицы. Таким образом, в настоящее время при существующей обеспеченности запасами строительство горных предприятий на базе Гравийского, Сухаринского, Икэченского, Арылахского, Порфиорового, Имангдинского месторождений нецелесообразно. Гравийское месторождение, с запасами руды 1259,9 тыс. т. и содержанием меди 2,42%, находящееся на диаграмме (рис. 3) вблизи с линией граничной эффективности, при изменении экономических условий (изменение цены, появление новых технологий) может перейти в разряд рентабельных.

Таблица 2

Прогнозная эффективность добычи меди на месторождениях Таймыра

Показатели	Гравий- ское	Сухарин- ское	Икэчен- ское	Арылах- ское	Порфиро- вое	Имангдин- ское
Содержание, %	2,42	1,02	0,35	0,41	0,2	0,55
Запас руды, тыс. т	1259,9	102	725	600	50	358
Срок обеспеченности запасами, лет	6,70	3,60	5,83	5,60	3,00	4,9
Годовая производительность по руде, тыс. т	180,51	27,40	119,26	103,48	16,05	70,29
Эксплуатационные затраты на тонну металла, \$/т	13 439	129 538	126 461	119 970	983 180	118 397
Общие капитальные затраты на разработку, млн.\$	736	281	596	554	214	37
Эффективность, д.е.	0,52	0,05	0,06	0,06	0,01	0,06
Вероятность освоения, д.е.	0,099	0,009	0,010	0,011	0,001	0,011

Заключение

Таким образом, оценка потенциальной эффективности разработки прогнозируемых медно- и золоторудных месторождений Арктической части Красноярского края показала, что при современном состоянии региональной сырьевой базы меди и золота перспективными являются только золоторудные месторождения Жильное, Нижнелиткинское и Грозненское. Можно ожидать, что вовлечение в разработку этих запасов будет экономически целесообразным даже на фоне других резервных месторождений. Запасы месторождения Извилистое на сегодняшний день являются неэффективными, но при росте цен на золото или снижении затрат (в результате внедрения новых технологий добычи и переработки золота) в перспективе могут перейти в разряд рентабельных.

Размеры запасов медных месторождений Таймыра и содержание полезных компонентов в рудах гораздо ниже минимально приемлемых величин для эффективного освоения. В районах Севера, где производственная, социальная и транспортная инфраструктуры развиты слабо, а климатические условия близки к экстремальным, капитальные и эксплуатационные затраты на разработку месторождений существенно выше, чем в других регионах. Поэтому освоение небольших месторождений бедных руд в ближайшей перспективе маловероятно с экономической точки зрения.

Проведённый анализ показал, что в настоящее время существенных запасов экономически привлекательных ресурсов меди и золота, кроме, естественно, месторождений Норильского промрайона, на Красноярском Севере нет. В этой связи освоение территорий требует постановки масштабных поисково-разведочных работ современными методами для

оценки их ресурсного потенциала. Повышается также актуальность и роль научных исследований, направленных на разработку новых технологий, которые позволят повысить доступность арктических месторождений и, тем самым, будут способствовать решению экономических, социальных, демографических и экологических проблем Севера.

Литература

1. Kharitonova, M.J., Matsko, N.A., Mikhaylov, A.G., Influence of the time factor on the availability of deposits of nonferrous metals, *Resources Policy*, 2013, 38, p. 490–495.
2. Харитонов М.Ю., Мацко Н.А. Развитие вероятностного подхода к оценке доступности месторождений полезных ископаемых // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири*. №2(22). 2015. С. 104–107.
3. Самойлов А.Г., Ванюнин Н.В., Тимкин С.Б. Золото архипелага Северная Земля // *Минеральные ресурсы России: экономика и управление*. 1999. №1. С. 27–31.

References

1. Kharitonova, M.J., Matsko, N.A., Mikhaylov, A.G., Influence of the time factor on the availability of deposits of nonferrous metals, *Resources Policy*, 2013, 38, pp. 490–495.
2. Kharitonova M.J., Matsko N.A. Razvitie veroyatnostnogo podhoda k ocenke dostupnosti mestorozhdenii poleznyh iskopaemyh, *Geologija i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri*, 2015, №2(22), pp. 104–107.
3. Samoilov A.G., Vanyunin N.V., Timkin S.B. Zoloto arhipelaga Severnaja Zemlja, *Mineral'nye resursy Rossii: ekonomika i upravlenie*, 1999, №1, pp. 27–31.