

СТАТЬЯ

УДК 553.04:553.32

DOI 10.17513/use.38541



CC BY 4.0

ПРОГНОЗНЫЕ РЕСУРСЫ ХОЙТО-АГИНСКОГО МАРГАНЦЕВОГО УЗЛА АКША-ИЛИНСКОЙ СЕРИИ (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

¹Соловьев А. Н. ORCID ID 0009-0008-3716-2851,²Соловьева Л. М. ORCID ID 0009-0000-9522-0310,^{1,3}Чекушина Т. В. ORCID ID 0000-0001-9261-1105

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»,
Москва, Российская Федерация, e-mail: alexandersolowiev@yandex.ru;

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Геологический институт Российской академии наук», Москва, Российская Федерация;

³Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова
Российской академии наук», Москва, Российская Федерация

Марганцевые руды Восточного Забайкалья представляют интерес как потенциальный источник марганцевого сырья для восточной части России, где промышленно значимые запасы марганца практически отсутствуют. Хойто-Агинский марганцевый узел, расположенный в пределах Агинской площади и приуроченный к породам акша-илинской серии (агинская и зуткулейская свиты), остаётся изученным неравномерно: детальные поисково-разведочные работы проведены лишь на месторождениях Кусочи и Монголтуйское, тогда как пункты минерализации марганца на остальной территории узла изучены слабо. Целью работы стала переоценка прогнозных ресурсов узла с учётом фациальных предпосылок и геохимических данных, свидетельствующих о вероятном оруденении на глубине. В качестве материалов использованы результаты буровых и геохимических работ на месторождениях Кусочи и Монголтуйское, а также ранее полученные оценки прогнозных ресурсов. Представленное в статье исследование носит теоретический характер; новые полевые данные отсутствуют. По данным изученной площади определена площадная удельная продуктивность, которая применена к прогнозной площади узла с использованием коэффициента подобия 0,4. Коэффициент подобия принят с определённой долей условности на основании метода геологической аналогии и экспертной оценки. В результате расчётов получена оценка прогнозных ресурсов категории РЗ – прогнозной категории российской классификации с наименьшей степенью достоверности, в целом сопоставимой с предполагаемыми ресурсами. Для слабо изученной площади оценка составила 14,84 млн т. С учётом ранее учтённых ресурсов рудного поля общая оценка ресурсов Хойто-Агинского узла составила 37,3 млн т, что превышает совокупную оценку предыдущих исследований – 29,76 млн т. Новая оценка позволяет рассматривать Хойто-Агинский узел как более перспективный марганцеворудный объект, чем считалось ранее. Предложенный подход к пересчёту прогнозных ресурсов может быть использован при дальнейшем геологическом изучении территории.

Ключевые слова: Восточное Забайкалье, марганцевые месторождения, акша-илинская серия, подсчеты ресурсов, прогнозные ресурсы

PROJECTED RESOURCES OF THE KHOITO-AGINSKY MANGANESE NODE OF THE AKSHA-ILINSKY SERIES (EASTERN TRANSBAIKALIA)

¹Solovev A. N. ORCID ID 0009-0008-3716-2851,²Soloveva L. M. ORCID ID 0009-0000-9522-0310,^{1,3}Chekushina T. V. ORCID ID 0000-0001-9261-1105

¹Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“Patrice Lumumba Russian University of Friendship of Peoples”,
Moscow, Russian Federation, e-mail: alexandersolowiev@yandex.ru;

²Federal State Budgetary Institution of Science
“Geological Institute of the Russian Academy of Sciences”, Moscow, Russian Federation;

³Federal State Budgetary Institution of Science “Institute of Problems
of Integrated Development of Subsoil named after Academician N. V. Melnikov
of the Russian Academy of Sciences”, Moscow, Russian Federation

Manganese ores of Eastern Transbaikalia are of interest as a potential source of manganese raw materials for eastern Russia, where industrially significant manganese reserves are virtually absent. The Khoito-Aginsky manganese ore cluster, located within the Aginskaya area and hosted by rocks of the Aksha-Ilinsky Series (the Aginskaya and Zutkuleyskaya formations), has been studied unevenly. Detailed exploration has been conducted

only at the Kusochi and Mongoltskoye deposits, whereas manganese mineralization occurrences throughout the remainder of the cluster remain poorly studied. The aim of this study was to reassess the prognostic resources of the cluster, taking into account facies-related criteria and geochemical data indicating probable mineralization at depth. The study used the results of drilling and geochemical surveys conducted at the Kusochi and Mongoltskoye deposits, as well as previously published prognostic resource estimates. The research presented in this article is theoretical in nature; no new field data were collected. Specific areal productivity was determined from data for the explored area and applied to the prognostic area of the cluster using a similarity coefficient of 0.4. The similarity coefficient was adopted with a certain degree of uncertainty based on the geological analogy method and expert assessment. The calculations yielded a category P3 prognostic resource estimate. Under the Russian classification, P3 is the prognostic category with the lowest degree of confidence and is broadly comparable to inferred resources. The estimate for the poorly explored area amounted to 14.84 Mt. When combined with the previously estimated resources of the ore field, the total resource estimate for the Khoito-Aginsky cluster reached 37.3 Mt, exceeding the cumulative estimate of previous studies of 29.76 Mt. The revised estimate indicates that the Khoito-Aginsky cluster may have greater manganese potential than previously assumed. The proposed approach to reassessing prognostic resources may be used in further geological investigations of the area.

Keywords: Eastern Transbaikalia, manganese deposits, Aksha-Ilinsky series, resource estimates, forecast resources

Введение

Марганцевые ресурсы обладают существенной промышленной значимостью. Однако для большинства месторождений качество руды низкое: по содержанию марганца они в большинстве своём относятся к бедным разновидностям [1]. Дополнительным осложняющим фактором выступает трудная обогатимость этих руд, сопровождающаяся повышенными концентрациями фосфора, железа и кремнезёма.

При значительных транспортно-логистических расходах возможно обеспечение ресурсами восточной части страны. Однако стоит учитывать большой объём транспортно-логистических затрат, ввиду которых транспортировка может быть нецелесообразна. На востоке располагаются местные марганцеворудные объекты (рис. 1), среди которых выделяются Громовское месторождение и Хойто-Агинский марганцевый узел (Восточное Забайкалье) [2].

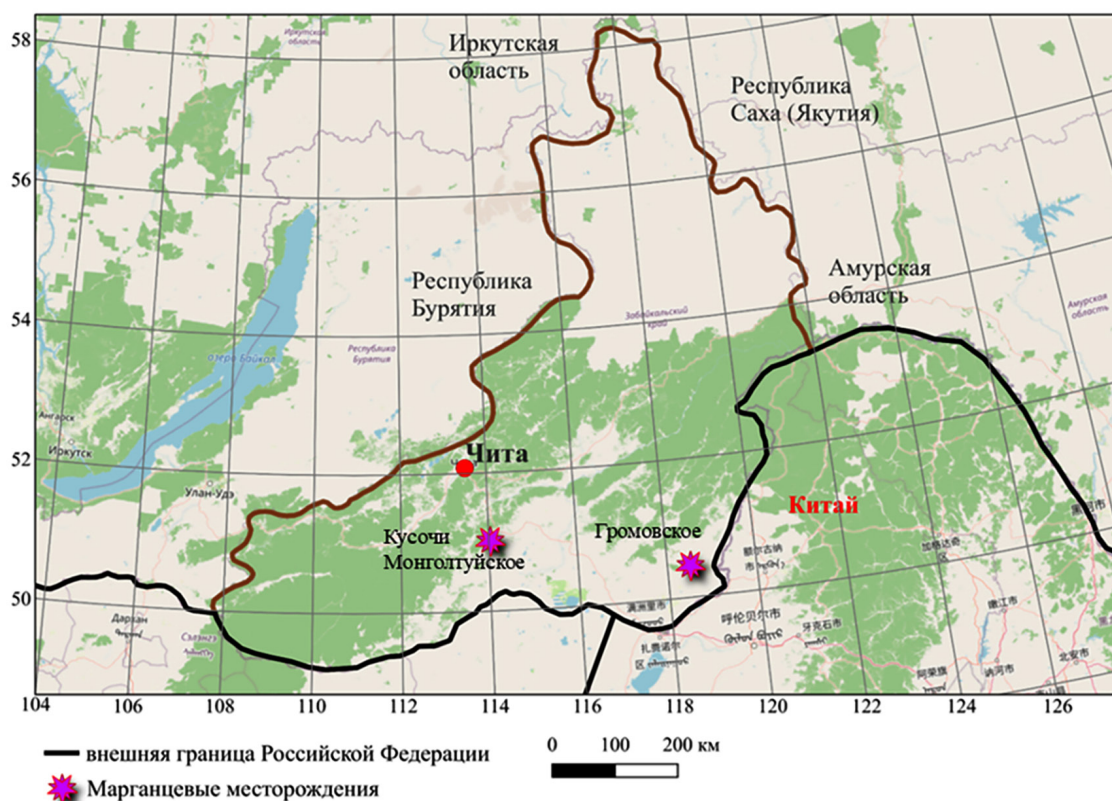


Рис. 1. Марганцевые месторождения Восточного Забайкалья

Примечание: карта составлена авторами на основе источника [2] с изменениями: обозначены месторождения, добавлена картографическая основа

Сравнивая руды Громовского месторождения и Хойто-Агинского узла, выясняется, что последние беднее. Авторы настоящей статьи связывают этот факт с недостаточной изученностью и методикой подсчета запасов.

Прогнозные ресурсы по категории P_3 Хойто-Агинского узла, за исключением территории поля, подсчитаны на основании обнаруженных пунктов минерализации марганца. В настоящей статье представим альтернативную интерпретацию прогнозных ресурсов, поскольку, по мнению авторов, Хойто-Агинский узел должен располагать большими объемами руды [3]. Имеется в виду объем окисленной руды, а не содержащемся MnO_2 .

В данной работе опишем, как происходила оценка прогнозных ресурсов и подсчет запасов по категории C_2 (перспективные, неразведанные запасы) предшествующими исследованиями. Предложим свой метод подсчета запасов и прогнозных ресурсов. **Цель исследования** – переоценка прогнозных ресурсов Хойто-Агинского марганцевого узла. Актуальность исследования обусловлена сырьевыми нуждами в марганцевом компоненте.

Материал и методы исследования

В пределах Хойто-Агинского узла находятся малое месторождение Кусочи, среднее месторождение Монголтуйское, проявления: Участок № 1, Урдо-Агинское, Наринское, Удэ-Гунтэйское. Известны пункты минерализации, которые изучены слабо [2].

Хойто-Агинский узел согласно картографической номенклатуре принадлежит к территории Агинской площади. На Агинской площади неоднократно проводились геохимические, геофизические исследования и работы по геологическому доизучению. Стратиграфически оруденение принадлежит к породам акша-илинской серии: агинской и зуткулейской свитам [4, 5]. И агинская, и зуткулейская свиты имеют флишоподобное строение [6].

На рис. 2 отмечена площадь поисково-разведочных работ. Площадь проведенных работ сравнительно меньше площади Хойто-Агинского поля и одноименного узла.

Стоит отметить, что по результатам геохимических работ большая часть Агинской площади лежит в поле марганцевой аномалии (рис. 2, II). Авторы допускают, что зоны омарганцевания сформировались под влиянием значительных тектонических процессов, приведших к концентрированию

аномальных содержаний марганца в определенных зонах [7]. Это приводит авторов к мысли о том, что марганцевые ресурсы остаются подсчитанными не в полном объеме [8, 9].

Марганцевое оруденение месторождений Монголтуйского и Кусочи представлено корой выветривания, залегающей на глубине около 30 м, приблизительно до 43 м. Оруденение сосредоточено в породах акша-илинской серии верхней перми – нижнего триаса. Это время характеризуется осадконакоплением в условиях бассейна с неспокойным гидродинамическим режимом. Позднее, к концу триаса, произошло закрытие бассейна. Для Агинской площади описывается, что коллизионные процессы происходили в средне-позднеюрское время [10]. Из этого следует, что марганцевая минерализация может иметь осадочное или осадочно-гидротермальное происхождение.

Ввиду предполагаемых условий формирования оруденения авторы считают, что очерчивать его для прогнозирования ресурсов необходимо по породам акша-илинской серии [11, 12].

Расчет прогнозных ресурсов

В первую очередь обратимся к характеристике пунктов минерализации. На территории Хойто-Агинского узла развито 6 пунктов минерализации (таблица).

Пункты минерализации марганца тяготеют к южной части Хойто-Агинского узла, выходя за рамки одноименного поля. Большое распространение пункты минерализации получили вблизи бассейна реки Урда-Ага. Зоны омарганцевания, милонитизации, дробления, к которым принадлежат пункты минерализации Хойто-Агинского узла, косвенно могут принадлежать к второстепенным разломам.

По повышенным содержаниям марганца в пунктах минерализации авторы предполагают оруденение на глубине, идентичное уже разведанному. На наличие оруденения указывают прежде всего фациальные предпосылки [13, 14]. Отложения характеризуются богатыми органическими остатками. Роль органического вещества высока при образовании марганцевых отложений.

Наиболее хорошо изучены месторождения Кусочи и Монголтуйское. На площади поисково-разведочных работ проводилось бурение, на основании которого были определены размеры рудных тел. Для рудных тел были подсчитаны запасы по категории C_2 и прогнозные ресурсы окисленных руд.

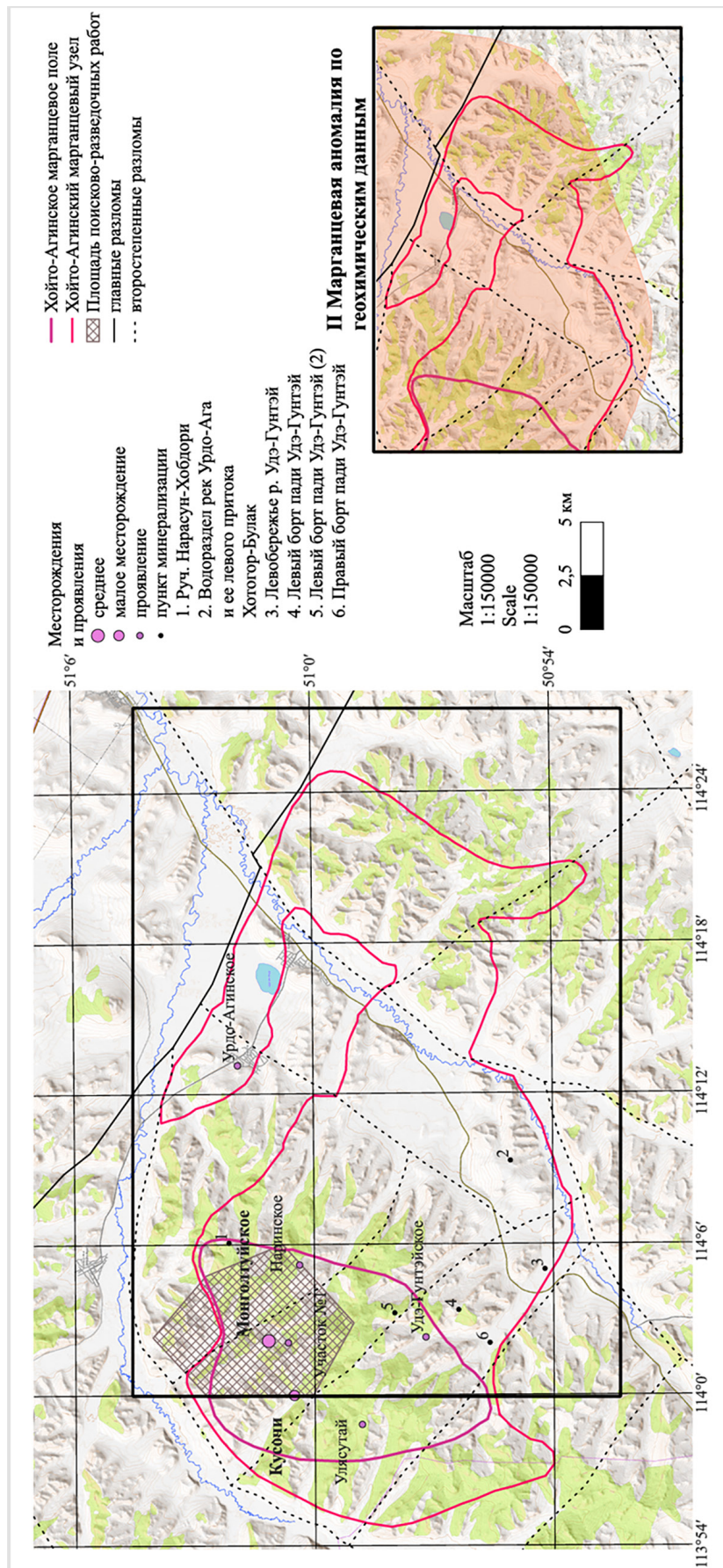


Рис. 2. Хойто-Агинский марганцевый узел. II Марганцевая аномалия
 Примечание: карта составлена авторами на основе источника [2].

добавлены второстепенные разломы, наложена площадь распространения геохимической аномалии

Пункты минерализации Хойто-Агинского узла

Номер на карте	Название проявления, пункта минерализации, ореола и потока	Метасоматические изменения	Породы, претерпевшие изменения	Содержание Mn
1	Руч. Нарасун-Хобдори	зоны омарганцевания	кремнистые аргиллиты	до 16 %
2	Водораздел рек Урдо-Ага и ее левого притока Хотогор-Булак	зоны дробления и милонитизации	не описано	от 0,5 до 5,0 %, в единичных пробах – 8,3 %
3	Левобережье р. Удэ-Гунтэй	зоны омарганцевания	дроблённые алевролиты	Спектральным анализом в штучных пробах выявлено до 5 %
4	Левый борт пади Удэ-Гунтэй	зона милонитизации	не описано	более 3 %
5	Левый борт пади Удэ-Гунтэй	ожелезнение	брекчированные песчаники	Спектральным анализом штучных проб установлены – 5 %
6	Правый борт пади Удэ-Гунтэй	омарганцевание	дроблённые песчаники	5–7 %

Примечание: составлена авторами на основе источника [2].

Месторождения марганца представлены стратиформным типом оруденения вместе с телами, имеющими сложную форму. По рудным пересечениям, полученным на основе буровых работ, были подсчитаны запасы для месторождений Кусочи и Монголтуйское по категории C_2 , которые составили 7,96 млн т. Запасы рудного поля считаются также по сведениям буровых работ. Известны сведения о прогнозных ресурсах окисленных руд для поля (22,46 млн т), рассчитанных по категориям $C_2+P_1+P_2+P_3$. Данные сведения учитывают ресурсы месторождений (Монголтуйское и Кусочи), проявлений: Участок № 1, Урдо-Агинское, Наринское и Удэ-Гунтэйское.

На остальной площади Хойто-Агинского узла и одноименного поля не проводились комплексы детальных исследований. По одноименному узлу описаны прогнозные ресурсы по категории P_3 в количестве 7,3 млн т. Авторы выражают некоторые сомнения относительно данной оценки ресурсов узла.

Значительно опоискованная площадь рудного поля принята авторами за аналог оруденения, что необходимо для экстраполяции данных на площадь узла. Экстраполяция в данном исследовании основывается на применении метода геологической аналогии с элементами экспертной оценки. Одинаковая глубина у известного и у прогнозируемого оруденения обусловлена работой в пределах одного рудного узла. По той же причине метод геологической аналогии не применим «в чистом виде».

Опираясь на ресурсы рудного поля и участков, где проводились буровые работы,

проведена переоценка прогнозных ресурсов для площади Хойто-Агинского узла (рис. 3).

Расчет прогнозных ресурсов основывается на сведениях поисково-разведочных работ: площадь работ ($S_p=65 \text{ км}^2$) и её запасы ($Q_p=7,96 \text{ млн т}$). Запасы в 7,96 млн т подсчитаны для Хойто-Агинского поля. По представленным данным рассчитывается площадная удельная продуктивность g по формуле 1 [15].

$$G = Q_p / S_p = 0,12 \text{ млн т / км}^2, \quad (1)$$

Площадь авторского прогноза равна площади узла ($S_u=409,27 \text{ км}^2$) с вычетом площади рудного поля ($S_p=100,09 \text{ км}^2$) составит:

$$S_x = S_u - S_p = 309,18 \text{ км}^2, \quad (2)$$

Предполагается, что площадь узла будет схожа по своим запасам наиболее опоискованной площади – площади проведения поисково-разведочных работ [16, 17]. Тогда воспользуемся коэффициентом подобия (K).

Коэффициент подобия в данном исследовании целесообразно рассчитывать, опираясь на распространение минерализации по площади, ведь фактически сведения опоискованной площади экстраполируются на площадь прогноза. В обычной практике применяется система критериев, содержащая оценку по формационному, геоморфологическому, геодинамическому, структурному, магматическому, литолого-фациальному, стратиграфическому и др. параметрам. Авторы статьи считают нецелесообразным оценку по системе критериев, так как работа ведется с одной и той же минерализацией.

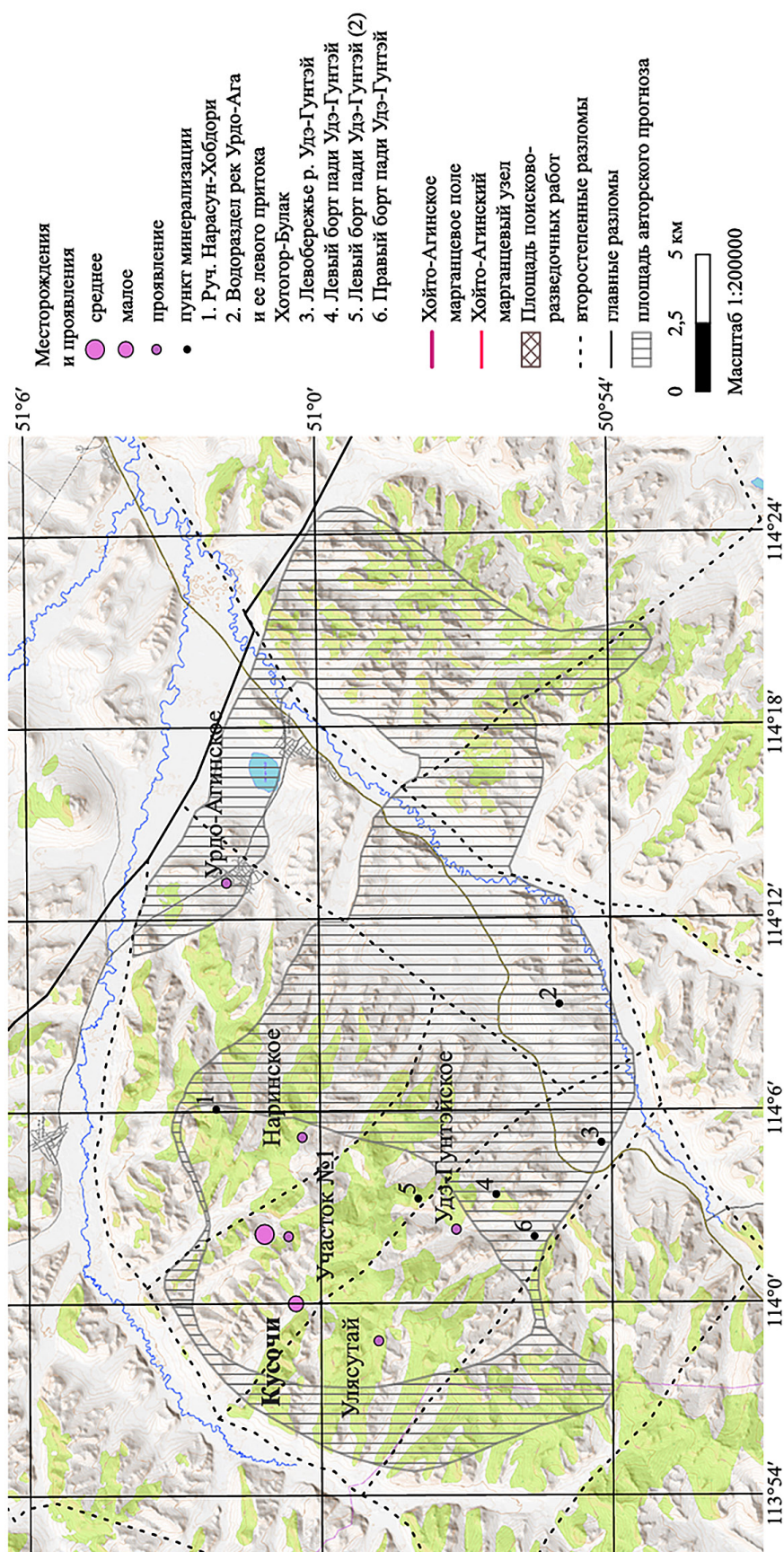


Рис. 3. Площадь авторского прогноза S_x .
 Примечание: карта составлена авторами на основе источника [2] с добавлениями: очерчена собственная площадь прогноза, обозначены второстепенные разломы

Распространение минерализации окажет прямое влияние на коэффициент подобия. Распространение минерализации (k_m) является отношением суммы числа месторождений, проявлений и пунктов минерализации к площади. Для прогнозируемой площади $k_m = 0,016$.

Нет доказанной связи между количеством рудопоявлений и объемом руды, однако можно судить о схожести двух рудных объектов по количеству проявлений на единицу площади. Это обусловлено тем, что сами проявления, концентрация полезного компонента, количество проявлений, их рассредоточение по местности определяются глубиной залегания (чем ближе к поверхности, тем больше проявлений фиксируется), геологическими условиями (наличие разломов, зон дробления и др.), деятельностью эрозионных процессов. Коэффициент распространения минерализации k_m объединяет в себе множество характеристик, за счет чего является универсальным.

Для эталонной площади коэффициент распространения минерализации $k_{mi} = 0,12$. Распространение минерализации оценивается относительно эталонной площади по формуле 3.

$$k_{ma} = k_m / k_{mi} = 0,13. \quad (3)$$

Предполагаемый коэффициент подобия K_{es} рассчитывается как среднее между k_c и k_m , т. к. оба коэффициента в равной степени влияют на дальнейшее определение коэффициента подобия. Оценка степени сходства k_c была принята равной 1, т. к. исследуемый и эталонный объекты входят в один рудный узел. Приведем расчет K_{es} .

$$K_{es} = (k_{ma} + k_c) / 2 = 0,6. \quad (4)$$

При определении коэффициента подобия необходимо учитывать особенности оруденения, которые не были учтены в процессе оценки ранее. Авторы видят целесообразность в уменьшении коэффициента подобия K до 0,4. Такое решение обусловлено низкими концентрациями марганца, выявленными в результате поисково-разведочных работ. Несмотря на это, на прогнозной площади наблюдаются схожие с эталонной явления окремнения, брекчирования и омаргання, что свидетельствует о существенном сходстве между территориями [18, 19].

Учитывая, что глубина прогноза равна глубине предполагаемого оруденения эталона, рассчитаем ресурсы Q млн т исследуемой площади [15].

$$Q = g \cdot K \cdot S_x = 14,84 \text{ млн т} \quad (5)$$

Подсчитанные ресурсы окисленных руд по категории P_3 для площади S_x составят 14,84 млн т. Учитывая прогнозные ресурсы $C_2 + P_1 + P_2$ в количестве 22,46 млн т для площади поля S_p внутри узла площадью S_u , ресурсы по всему Хойто-Агинскому узлу составят 37,3 млн т. Стоит уточнить, что оценка по категории P_3 связана с долей условностей; это допустимо, ведь категория P_3 характеризует наименьшую степень достоверности.

Результаты исследования и их обсуждение

Перспективы Хойто-Агинского марганцевого узла связаны со слабо изученными пунктами минерализации. Авторы предполагают, что при более тщательном изучении пунктов минерализации геологическими и геофизическими методами есть вероятность найти оруденение с промышленными содержаниями марганцевого компонента.

Авторские подсчеты прогнозных ресурсов показали оценку более высокую, чем оценки предшественников. Для всей площади Хойто-Агинского узла оценка составила 37,3 млн т окисленной руды. Оценка по своему характеру больше является сценарной, поскольку характеризует число предполагаемых ресурсов. Предыдущие исследования говорили об оценке по рудному полю 22,46 млн т и об оценке по рудному узлу по категории P_3 7,3 млн т. Таким образом, общая оценка предыдущих исследований составила 29,76 млн т ($C_2 + P_1 + P_2 + P_3$). Разница между авторскими расчетами и результатами предыдущих исследований составила 7,54 млн т. В этом исследовании была получена оценка ресурсов узла, превышающая ранние оценки.

Заключение

В процессе работы авторов были уточнены результаты предыдущих исследований, предложен альтернативный вариант расчета ресурсов для площади узла.

Хойто-Агинский узел рассматривается как перспективный рудный объект; его перспективность обусловлена фациальными предпосылками. Был предложен и обоснован подход к подсчету ресурсов, в результате которого получена новая оценка предполагаемых прогнозных ресурсов рудного узла. Авторский подход объясняется геологическими условиями размещения оруденения, геохимическими и стратиграфическими характеристиками минерализации, проявленной на поверхности. В результате

исследования были получены новые данные об оценке ресурсов Хойто-Агинского узла, на которые можно опираться при дальнейшем его изучении.

Список литературы

1. Брусницын А. И., Перова Е. Н., Верещагин О. С., Ветрова М. Н. Геохимические особенности и условия накопления марганценовых отложений комплексного (Fe–Mn и BaSO₄–Pb) месторождения Ушкатын-III, Центральный Казахстан // Геохимия. 2021. Т. 66. № 9. С. 818–850. URL: <https://sciencejournals.ru/cgi/getPDF.pl?jid=geokhim&year=2021&vol=66&iss=9&file=GeoKhim2107002Brusnitsyn.pdf> (дата обращения: 22.07.2026). DOI: 10.31857/S0016752521070025.
2. Павленко Ю. В. Глубинное строение и минерализация Юго-Восточного Забайкалья: монография. Чита: ЧитГУ, 2009. 200 с. ISBN: 978-5-9293-0475-0. EDN: ZTOGMX.
3. Брагин В. И., Харитонов М. Ю., Мацко Н. А. Вероятностный подход к оценке динамического бортового содержания // Записки Горного института. 2021. Т. 251. С. 617–625. URL: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/14700> (дата обращения: 22.07.2026). DOI: 10.31897/PMI.2021.5.1.
4. Кириллова Г. Л. Триасовый этап в эволюции мезозойского седиментогенеза Монголо-Охотской складчатой системы // Тихоокеанская геология. 2020. Т. 39. № 2. С. 3–20. URL: http://itig.as.khb.ru/POG/2020/n_2/pdf/Kirillova.pdf (дата обращения: 22.07.2026). DOI: 10.30911/0207-4028-2020-39-2-3-20.
5. Синица С. М., Василенко Е. А., Вильмова Е. С. Литологические и палеонтологические индикаторы климата в мезозое Забайкалья // Вестник Забайкальского государственного университета. 2020. Т. 26. № 1. С. 60–67. URL: <https://zabvestnik.com/wp-content/uploads/070220060246-60-67.pdf> (дата обращения: 22.07.2026). DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-1-60-67.
6. Окунева Т. М. Биостратиграфия триаса Дальнего Востока и Забайкалья // Тихоокеанская геология. 2002. Т. 21. № 6. С. 3–30. URL: http://itig.as.khb.ru/POG/2002/2002_t21_n6.pdf (дата обращения: 22.07.2026).
7. Дриль С. И., Кузьмин М. И., Носкова Ю. В., Зарубина О. В. Изотопные Sm–Nd-характеристики ювенильной коры центральной части Монголо-Охотского орогенного пояса // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023. Т. 509. № 2. С. 184–189. URL: <https://sciencejournals.ru/cgi/getPDF.pl?jid=danzem&year=2023&vol=509&iss=2&file=DANZem2260281Dril.pdf> (дата обращения: 22.07.2026). DOI: 10.31857/S2686739722602812.
8. Павленко Ю. В., Шивохин Е. А. Минерогенетические факторы и критерии рудоносности доюрского периода Юго-Восточного Забайкалья – основа оценки и прогноза полезных ископаемых // Вестник Читинского государственного университета. 2007. № 1. С. 10–19. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mineragenicheskie-faktory-i-kriterii-rudonosnosti-doyurskogo-perioda-yugo-vostochnogo-zabaykalya-osnova-otsenki-i-prognoza-poleznyh> (дата обращения: 22.07.2026).
9. Hronsky J. M. A., Kreuzer O. P. Applying spatial prospectivity mapping to exploration targeting: Fundamental practical issues and suggested solutions for the future // Ore Geology Reviews. 2019. Vol. 107. P. 647–653. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169136819302203> (дата обращения: 22.07.2026). DOI: 10.1016/j.oregeorev.2019.03.016.
10. Синица С. М., Вильмова Е. С., Вильмова Е. С. Продукты органогенных карбонатов докембрия и фанерозоя Забайкалья // Ученые записки ЗабГУ. Сер. Биологические науки. 2018. Т. 13. № 1. С. 78–92. URL: https://uchzap.com/wp-content/uploads/251120031103-Sinica_Vilmova_Vilmova.pdf (дата обращения: 22.07.2026). DOI: 10.21209/2500-1701-2018-13-1-78-92.
11. Zhang C., Zuo R., Xiong Y., Zhao X., Zhao K. A geologically-constrained deep learning algorithm for recognizing geochemical anomalies // Computers & Geosciences. 2022. Vol. 162. 105100. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300422000620> (дата обращения: 22.07.2026). DOI: 10.1016/j.cageo.2022.105100.
12. Ефремов С. В., Бибитов А. Г., Гиёсов М. Я., Минкевич Д. С., Цыдыпова С. Б. Оценка флангов рудных месторождений с помощью геохимических съемок по первичным и вторичным ореолам. Первичные ореолы // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2017. Т. 40. № 2(59). С. 36–49. URL: <https://journals.istu.edu/znz/journals/2017/02/articles/03?view=1> (дата обращения: 22.07.2026).
13. Викентьев И. В., Дамдинов Б. Б., Минина О. Р., Спирина А. В., Дамдинова Л. Б. Классификация процессов полиметаллического рудообразования и переходный VMS–SEDEX–MV-тип – пример гигантского озерного месторождения в Забайкалье, Россия // Геология рудных месторождений. 2023. Т. 65. № 3. С. 201–236. DOI: 10.31857/S001677702303005X. EDN: TYICEI. URL: <https://journals.rsci.science/0016-7770/article/view/134676> (дата обращения: 22.07.2026).
14. Петров Г. А. Прогнозирование благороднометалльного оруденения в допалеозойских черносланцевых толщах центральной части Уральского подвижного пояса // Литосфера. 2014. № 6. С. 88–101. URL: <https://www.lithosphere.ru/jour/article/view/394> (дата обращения: 22.07.2026).
15. Методические рекомендации по выделению и обоснованию перспективных участков недр на твердые полезные ископаемые по результатам региональных геолого-геофизических и геологосъемочных работ. ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2018. С. 18–21.
16. Кривогузова А. С., Васютенко Д. М. Анализ применения математического моделирования в геологии // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: физико-математические и технические науки. 2022. № 1. С. 101–107. URL: https://journals.kantiana.ru/upload/iblock/388/13_101-107.pdf (дата обращения: 22.07.2026).
17. Дадькин В. С., Дадькина О. В., Язвенко Н. А. Разработка методики интегральной экспертной оценки перспективности участков недр на основе онтологической модели и нечеткой логики // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334. № 8. С. 182–189. URL: <https://izvestiya.tpu.ru/archive/article/view/4030>. DOI: 10.18799/24131830/2023/8/4030 (дата обращения: 22.07.2026).
18. Zuo R., Cheng Q., Xu Y., Yang F., Xiong Y., Wang Z., Kreuzer O. P. Explainable artificial intelligence models for mineral prospectivity mapping // Science China Earth Sciences. 2024. Vol. 67, Is. 9. P. 2864–2875. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11430-024-1309-9> (дата обращения: 22.07.2026). DOI: 10.1007/s11430-024-1309-9.
19. Wang J., Zuo R., Caers J. Discovering geochemical patterns by factor-based cluster analysis // Journal of Geochemical Exploration. 2017. Vol. 181. P. 106–115. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375674217301796> (дата обращения: 22.07.2026). DOI: 10.1016/j.gexplo.2017.07.006.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.