Оригинальная статья / Original Paper

https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-5-114-117

Определение основ комплексной оценки освоения месторождений минерального сырья Республики Тыва

В.О. Ооржак ✉
Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кызыл, Российская Федерация
✉ v.oorgak@yandex.ru

Резюме: В статье предложены методические основы комплексной оценки освоения месторождений для условий Республики Тыва – региона с высоким ресурсным потенциалом и выраженными инфраструктурными, экологическими и институциональными ограничениями. Актуальность исследования обусловлена необходимостью сопоставлять объекты недропользования не только по запасам и доходности, но и по транспортной доступности, энергообеспечению, экологической чувствительности и готовности социально-институциональной среды. Цель – сформировать воспроизводимую схему интегральной оценки и ранжирования ресурсных узлов для регионального стратегического планирования. Использованы методы сравнительного анализа, нормирования, экспертного взвешивания, пороговой фильтрации, агрегирования индекса и сценарной проверки. На апробации четырёх ресурсных узлов Тывы показано, что учёт пороговых ограничений меняет приоритет объектов по сравнению с оценкой только по ресурсным и экономическим параметрам. Получены веса пяти блоков критериев, состав базовых индикаторов, формат представления результатов в виде интегрального индекса и карты узких мест. Научная новизна исследования заключается в объединении геологических, инфраструктурных, экономических, экологических и социально-институциональных параметров в единой регионально-ориентированной процедуре с пороговым допуском и сценарной перепроверкой. Предложенная методика может использоваться органами управления и недропользователями как инструмент предварительного отбора и синхронизации решений по недропользованию и инфраструктурному развитию, а также как база для расширения модели на уровень конкретных месторождений.

Ключевые слова: комплексная оценка освоения месторождений, минерально-сырьевая база региона, Республика Тыва, ранжирование ресурсных узлов, интегральный индекс приоритета, многофакторная оценка, инфраструктурные ограничения, экологические ограничения, стратегическое планирование недропользования, пороговые стоп-факторы

Благодарности: Статья выполнена в рамках исследований по базовому проекту Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН №1023033100464-7-1.5.1.

Для цитирования: Ооржак В.О. Определение основ комплексной оценки освоения месторождений минерального сырья Республики Тыва. *Горная промышленность*. 2026;(5):114–117. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-5-114-117

Defining foundations for a comprehensive assessment of mineral deposit development in the Republic of Tyva

V.O. Oorzhak ✉
Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kyzyl, Russian Federation
✉ v.oorgak@yandex.ru

Abstract: This paper proposes a methodological framework for a comprehensive assessment of deposit development in the Republic of Tyva, a region with a high resource potential and significant infrastructural, environmental, and institutional constraints. This approach is relevant due to the need to compare subsoil use targets not only by reserves and profitability, but also by transport accessibility, energy supply, environmental sensitivity, and availability of the social and institutional environment. The objective is to develop a reproducible framework for integrated assessment and ranking of the resource nodes for the regional strategic planning. Methods of comparative analysis, standardization, expert weight-based survey, threshold filtering, index aggregation, and scenario testing are used. A pilot study of four nodes in Tyva demonstrates that taking threshold constraints into account changes the priority of targets compared to an assessment that is based solely on resource and economic parameters. Weights for five sets of criteria, a composition of basic indicators, and a format for presenting results in the form of an integrated index and a bottleneck map are obtained. The scientific novelty lies in the integration of geological, infrastructural, economic, environmental, social and institutional parameters into a unified regionally-focused procedure with

threshold tolerance and scenario-based verification. The proposed method can be used by regulatory authorities and subsoil users as a tool for preliminary screening and coordination of decisions regarding subsoil use and infrastructure development, as well as a basis for adapting the model to specific deposits.

Keywords: comprehensive assessment of deposit development, regional mineral resource base, Tyva Republic, resource node ranking, integrated priority index, multifactor assessment, infrastructure constraints, environmental constraints, strategic subsoil use planning, threshold stop factors

Acknowledgements: This article was prepared as part of a research project of the Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (TUVIKOPR SB RAS) No. 1023033100464-7-1.5.1.

For citation: Oorzhak V.O. Defining foundations for a comprehensive assessment of mineral deposit development in the Republic of Tyva. *Russian Mining Industry*. 2026;(5):114–117. (In Russ.) https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-5-114-117

Введение

Республика Тыва сочетает значительный минерально-сырьевой потенциал с дефицитом транспортной и энергетической инфраструктуры. В стратегических документах развитие добывающих отраслей рассматривается как фактор экономического роста[1]. Однако реализуемость проектов зависит не только от запасов и конъюнктуры, но и от удалённости, стоимости подключения к сетям, сезонности логистики, экологических ограничений и институциональной готовности территорий [1; 2]. Проблема – отсутствие компактной воспроизводимой схемы, учитывающей одновременно ресурсную обеспеченность, инфраструктурную готовность, экономическую эффективность, экологические и социально-институциональные условия. Цель работы – определить основы комплексной оценки освоения месторождений Тывы и предложить процедуру ранжирования ресурсных узлов для стратегического планирования. Задачи: уточнение критериев, формирование системы нормирования и агрегирования, введение пороговых стоп-факторов, апробация, обсуждение ограничений.

Материалы и методы

Материал исследования – открытые нормативные, аналитические, статистические документы и научные работы по минерально-сырьевой базе Тывы и методам оценки горных проектов[2] [1–6]. Методология основана на принципах многокритериальной оценки, адаптированных к региональному уровню [4–6].

Единица сравнения – ресурсный узел (месторождение или группа объектов с инфраструктурной зоной подготовки). Для Тывы существенная доля затрат и рисков носит внеплощадочный характер (дороги, ЛЭП, логистика, водоснабжение, природоохранные согласования).

Система критериев – пять блоков: ресурсный, инфраструктурный, экономический, экологический, социально-институциональный. Для каждого блока – набор индикаторов, нормируемых в диапазоне от 0 до 1. Показатели положительной направленности нормировались по принципу «чем больше, тем лучше», отрицательной – по обратной шкале.

Взвешивание выполнялось в два шага: веса блоков (экспертные) и внутриблочные веса (в апробации – равные или укрупнённые). Итоговый базовый интегральный индекс I рассчитывался как сумма вкладов пяти блоков. Для повышения воспроизводимости применялась проверка согласованности экспертных оценок и контроль суммы весов.

Отдельным элементом методики является пороговый контур стоп-факторов. Пороговый контур стоп-факторов: три группы ограничений – критический экологический риск, дефицит инфраструктурной мощности (энергия/дорога/вода), институционально-регуляторная неготовность. При срабатывании стоп-фактора проект получает статус «не допущен» или «допущен после доработки» с понижающим коэффициентом.

Для оценки устойчивости – три сценария: базовый (текущая инфраструктура), инфраструктурно-ускоренный, риск-ограниченный. Сценарная проверка не заменяет технико-экономическое обоснование конкретного месторождения, но позволяет оценить чувствительность приоритетов на уровне регионального портфеля.

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 приведены рекомендуемые блоки критериев и примеры индикаторов для региональной оценки (ориентация на ранние и средние стадии, данные из открытых источников).

Разработанная и предлагаемая общая схема комплексной оценки представлена на рис. 1. Она включает последовательность операций: сбор данных, нормирование, проверку пороговых ограничений, формирование блоков критериев, взвешивание, агрегирование, ранжирование объектов и сценарную перепроверку. Такая структура позволяет отделить вычислительную часть от управленческих решений и обеспечить повторяемость процедуры при обновлении исходных данных.

Результаты апробационного взвешивания блоков: наибольший вес – ресурсный (0,30), далее инфраструктурный (0,22), экономический (0,20), экологический (0,16), социально-институциональный (0,12). Роль экологического и социального блоков усиливается через пороговый контур.

Пилотная оценка четырёх ресурсных узлов (табл. 2, рис. 2) показала различие между базовым интегральным индексом I и приоритетом P с учётом порогов. Наиболее заметное снижение – у Восточного золоторудного узла (высокий ресурсный потенциал нивелируется инфраструктурными и экологическими ограничениями). Ак-Сугский медно-порфировый узел получает штраф за инфраструктурную капиталоёмкость. Улуг-Хемский угольный узел имеет высокий базовый индекс, но приоритет зависит от логистики и конъюнктуры. Кызыл-Таштыгский полиметаллический узел сохраняет стабильный приоритет (теку-

1 Постановление Правительства Республики Тыва от 24.12.2018 №638 «О Стратегии социально-экономического развития Республики Тыва до 2030 года». Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/55032256 (дата обращения: 26.02.2026); Инвестиционная декларация Республики Тыва (утв. 23.05.2022 №255-РГ). Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/406089350 (дата обращения: 15.01.2026); Красноярскстат. Статистический ежегодник Республики Тыва. 2024, 2025. Режим доступа: https://24.rosstat.gov.ru/folder/45814 (дата обращения: 25.03.2026).

2 Постановление Правительства Республики Тыва от 24.12.2018 №638 «О Стратегии социально-экономического развития Республики Тыва до 2030 года». Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/55032256 (дата обращения: 26.02.2026); Инвестиционная декларация Республики Тыва (утв. 23.05.2022 №255-РГ). Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/406089350 (дата обращения: 15.01.2026); Красноярскстат. Статистический ежегодник Республики Тыва. 2024, 2025. Режим доступа: https://24.rosstat.gov.ru/folder/45814 (дата обращения: 25.03.2026)..

Таблица 1
Рекомендуемые блоки критериев и базовые индикаторы комплексной оценки

Table 1
Recommended criterion blocks and baseline indicators for comprehensive assessment

Блок критериев	Примеры индикаторов	Направленность	Комментарий
Ресурсный	Запасы и ресурсы; степень геологической изученности; качество руды / сырья; вариативность сырьевой базы	Положительная	Описывает стратегическую значимость и зрелость геологической информации
Инфраструктурный	Транспортное плечо; доступ к электросетям; наличие воды; сезонность логистики; близость производственной базы	Смешанная	Ключевой для Тывы блок, влияет на сроки и стоимость запуска
Экономический	Ориентировочная капиталоемкость; операционные затраты; добавленная стоимость; налоговый эффект; устойчивость к ценовым колебаниям	Смешанная	Оценивается укрупненно на ранней стадии, уточняется на стадии ТЭО
Экологический	Чувствительность экосистем; водные ограничения; отходы и хвосты; риск превышения нормативов; сложность рекультивации	Отрицательная / пороговая	Часть параметров учитывается как стоп-факторы, а не только линейным штрафом
Социально-институциональный	Кадровая доступность; институциональная готовность; социальные эффекты; налоги; согласованность с территориальным планированием	Смешанная	Определяет реализуемость и скорость прохождения подготовительных процедур

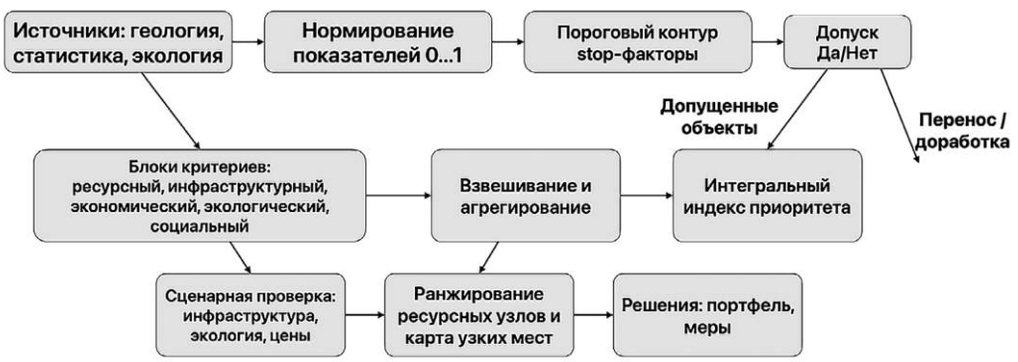


Рис. 1
Схема комплексной оценки освоения месторождений минерального сырья региона

Fig. 1
A flowchart for comprehensive assessment of the regional mineral deposit development

Таблица 2
Результаты пилотного ранжирования ресурсных узлов Республики Тыва

Table 2
Pilot ranking results for the resource nodes of the Republic of Tyva

Ресурсный узел	I, базовый индекс	P, приоритет	Доминирующий ограничивающий блок	Рекомендуемая мера
Кызыл-Таштыгский полиметаллический узел	0,638	0,678	Нет критического порога в пилотной оценке	Поддержание темпа и адресная модернизация обеспечивающей инфраструктуры
Улуг-Хемский угольный узел	0,652	0,636	Транспортная логистика и рыночная волатильность	Сценарное планирование логистики и диверсификация продуктовой линейки
Ак-Сугский медно-порфировый узел	0,668	0,561	Инфраструктурная капиталоемкость и сроки подключения	Приоритетная подготовка сетей и транспортного обеспечения
Восточный золоторудный узел	0,551	0,419	Экологические и инфраструктурные ограничения	Дополнительные изыскания, экологическое обоснование и поэтапный ввод

щая готовность выше).

Практическим результатом методики является не только ранжирование, но и формирование карты узких мест. Для каждого узла фиксируется доминирующий блок ограничений, определяющий набор управленческих мер: инфраструктурное сопровождение, дополнительная геологоразведка, пересмотр технологической схемы, экологическое дообоснование или институциональная подготовка территории. Такой формат удобен для согласования действий региональных органов власти, инвесторов и инфраструктурных компаний.

Предложенная схема подтверждает гипотезу: ранжирование только по запасам и доходности переоценивает часть проектов, не учитывая «цену доступа» к ресурсам. Введение инфраструктурного, экологического блоков и пороговых факторов приближает результаты к управленческой реальности региона [1–3].

Методически важно разделение двух типов решений: стратегическая значимость объекта для долгосрочного развития и приоритет действий в кратко- и среднесрочном горизонте. Объект с высоким ресурсным потенциалом, но низким текущим приоритетом из-за отсутствия энергоснабжения или экологической чувствительности не отвергается, а требует пакета подготовительных мер.

Сравнение с международными исследованиями показывает согласованность с многокритериальными подходами

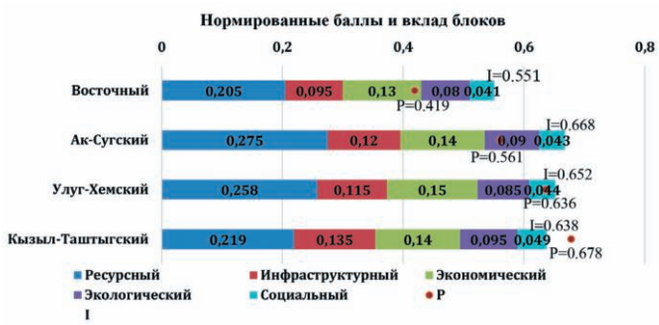


Рис. 2
Сопоставление базового индекса I и приоритета P с учетом пороговых ограничений

Fig. 2
A comparison of baseline index I and priority P with account of the threshold constraints

в горной отрасли [4–6]. Региональный уровень требует более грубой, но прозрачной параметризации из-за неполноты данных на ранних стадиях.

Ограничения: неоднородность исходных данных, зависимость весов от состава экспертов, условный характер апробации. Интегральный индекс не заменяет ТЭО и не предназначен для прямого расчёта эффективности конкретного недропользователя.

Практическое применение – в трёх контурах: региональное стратегическое планирование; формирование портфеля проектов и очередности инфраструктурного обеспечения; межведомственная координация природоохранных, транспортных и энергетических решений.

Перспективы дальнейших исследований: детализация внутриблочных показателей (вода, кадры, технологические и экологические риски), интеграция ГИС, переход к адаптивным весам по сценариям, калибровка порогов на основе фактической истории проектов в Сибири и Туве.

Заключение

По результатам исследования:

– определены основы комплексной оценки освоения месторождений Тывы как многофакторной регионально-ориентированной процедуры, объединяющей ресурсные, инфраструктурные, экономические, экологические и социально-институциональные критерии;

– предложена воспроизводимая схема: нормирование, блочное взвешивание, пороговый контур стоп-факторов, расчёт интегрального индекса, сценарная перепроверка ранжирования;

– показано, что учёт пороговых ограничений существенно влияет на очередность освоения ресурсных узлов и позволяет перейти от абстрактного ранга к конкретным мерам подготовки территории;

– методика может использоваться как инструмент предварительного отбора и синхронизации решений по недропользованию и инфраструктурному развитию, а также как база для расширения модели на уровень конкретных месторождений.

Список литературы / References

1. Ойдуп Т.М. Этапы промышленного освоения минерально-сырьевого комплекса Республики Тыва. *Горная промышленность*. 2024;(6):48–51. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-6-48-51
Oydup T.M. Commercial development stages of complex mineral resources in the Tyva Republic. *Russian Mining Industry*. 2024;(6):48–51. (In Russ.) https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-6-48-51
2. Ооржак В.О. Геолого-экономическая оценка перспектив освоения и рисков развития месторождений золота в Республике Тыва. *Горная промышленность*. 2025;(5):119–123. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5-119-123
Oorzhak V.O. Geological and economic assessment of the development prospects and risks of developing gold deposits in the Republic of Tyva. *Russian Mining Industry*. 2025;(5):119–123. (In Russ.) https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5-119-123
3. Лебедев Н.И. *Минеральные ресурсы Тувы: обзор и анализ полезных ископаемых*. Кызыл: ТувИКОПР СО РАН; 2012. 284 с. Режим доступа: https://www.geokniga.org/books/8734 (дата обращения: 27.04.2026).
4. Kamel A., Elwageeh M., Bonduà S., Elkarmoty M. Evaluation of mining projects subjected to economic uncertainties using the Monte Carlo simulation and the binomial tree method: Case study in a phosphate mine in Egypt. *Resources Policy*. 2023;80:103266. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103266
5. Yu H., Zahidi I., Fai C.M., Madsen D.Ø. Preliminary evaluation of mining area sustainability using multi-criteria decision-making methods. *Environmental Sciences Europe*. 2025;37(1):93. https://doi.org/10.1186/s12302-025-01132-7
6. Namin F.S., Ghadi A., Saki F. A literature review of Multi Criteria Decision-Making (MCDM) towards mining method selection (MMS). *Resources Policy*. 2022;77:102676. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102676

Информация об авторе
Ооржак Валерий Окпан-оолович – кандидат экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кызыл, Российская Федерация; https://orcid.org/0000-0003-2985-0722; e-mail: v.oorgak@yandex.ru

Информация о статье
Поступила в редакцию: 13.05.2026
Поступила после рецензирования: 23.06.2026
Принята к публикации: 02.07.2026

Information about the author
Valery O. Oorzhak – Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Leading Researcher, Tuvan Institute for Integrated Exploration of Natural Resources, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kyzyl, Russian Federation; https://orcid.org/0000-0003-2985-0722; e-mail: v.oorgak@yandex.ru

Article info
Received: 13.05.2026
Revised: 23.06.2026
Accepted: 02.07.2026