

Ф. М. Ренни

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ
БАЛЛЬНО-ИНДЕКСНОЙ ОЦЕНКИ РУДНЫХ РЕСУРСОВ
СЕВЕРНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЙОНА РОССИИ**

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Поступила в редакцию 13.01.2026 г.

Принята к публикации 24.03.2026 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-2

23

Для цитирования: Ренни Ф. М. Концептуальные положения балльно-индексной оценки рудных ресурсов Северного экономического района России // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2026. № 2. С. 23–41. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-2.

Цель исследования состоит в экспериментальной разработке методики балльно-индексной оценки месторождений железных руд и алюминиевого сырья как составляющих рудных ресурсов, в апробации ее на территориях, входящих в состав Северного экономического района России. К исследованию привлечен обширный статистический и фактический материал, содержащийся в нормативных и правовых документах, а также в литературных источниках. Основные характеристики рудных ресурсов приведены по состоянию на 2022 г. Показано, что балльно-индексная методика оценивания направлена на анализ ресурса как системы компонент, выраженных через различные свойства природных тел. Применительно к месторождениям железной руды, бокситов и нефелиновой составляющей комплексных апатит-нефелиновых руд обосновано поэтапное присвоение баллов и индексов, отражающих качественные и количественные характеристики ресурсов по специальному шкалам. Полученные таким образом баллы последовательно суммируются и на основе выявленного итогового значения определяются эффективность и перспективы дальнейшего освоения месторождений. Установлено, что наиболее рентабельные месторождения относятся к нефелиновым рудам в Мурманской области и к бокситам в Республике Коми; среднюю рентабельность имеют железные руды на территории Республики Карелия и Мурманской области. По авторской методике, учитывающей важнейшие характеристики полезных ископаемых и экономико-географические факторы развития горнодобывающей отрасли, рассчитан рудно-ресурсный потенциал регионов: наибольшим потенциалом обладают Мурманская область и Республика Коми, более низкие значения у Республики Карелия и Архангельской области. Полученные результаты могут быть использованы при стратегическом пространственном планировании и управлении региональным развитием ресурсной экономики исследуемого района России.

Ключевые слова: природно-ресурсный потенциал, железные руды, бокситы, апатит-нефелиновые руды, рентабельность месторождения, оценка рудных запасов



Введение

Территория северных регионов европейской части России обладает значительными запасами разнообразных ресурсов. В данном исследовании рассмотрены только железные руды и алюминиевое сырье, содержащееся в бокситах и нефелиновых сиенитах. По состоянию на 2022 г., запасы бокситов составляли 51,4 % от общероссийских, а нефелиновых руд — 78,5 %¹; эти ресурсы определяют и сырьевую, и обрабатывающую направленность экономики района [14; 15]. Следовательно, анализ и оценка их состояния являются актуальной темой.

24

Единого понимания сути термина «природно-ресурсный потенциал (далее — ПРП) территории» в литературе нет. Так, П. Я. Бакланов [2], А. А. Минц [16], А. И. Чистобаев [26], А. Миссемер [31] делают акцент на эффективности освоения природных ресурсов, а Н. Ф. Реймерс [23] и Г. Леврель [30] — на экологическом аспекте. Обобщая эти определения, под ПРП следует понимать количественное измерение природных ресурсов, которые могут быть эффективно добыты без нарушения экологического состояния природной среды. Соответственно, ПРП — это совокупность разведанных и утвержденных Государственной комиссией запасов рудных тел, которые могут быть эффективно и экологично использованы на предприятиях пиromеталлургических энерго-производственных циклов (термин Н. Н. Колосовского).

В экономико-географической литературе накоплен определенный опыт балльно-индексной оценки ПРП. Так, согласно методике Е. Б. Лопатиной и О. Р. Назаревского, ресурсам присваиваются баллы (от 1 до 10) в зависимости от размеров запасов, себестоимости добычи сырья и удельных капитальных вложений в добычу [13]. Недостатком данного подхода, на наш взгляд, является субъективность авторской шкалы оценивания, отсутствие учета качественных показателей сырья. Аналогичный недостаток присущ модели оценки ПРП, предложенной И. Ф. Зайцевым и О. А. Изюмским [7]. Отличие состоит лишь в том, что ими выбрана 20-балльная шкала. Игнорирование влияния свойств ресурсов характерны и для других работ [12; 25]. Такие оценки не дают понимания реальной ценности ресурса как сырья для промышленности. По нашему мнению, наиболее точная и емкая методика оценивания природных ресурсов создана А. М. Соромотиным применительно к нефтегазовому сырью [24]. К ее достоинствам относится учет основных параметров месторождений и места их расположения.

Исходя из анализа существующих концепций балльно-индексных оценок, вытекает актуальная задача создания комплексной интегральной оценки ПРП с учетом основных локальных (то есть относящихся к месторождению) и региональных факторов, влияющих на эксплуатацию сырья. На решение этой задачи и направлено данное исследование.

¹ Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Северо-западного федерального округа на 01.09.2022 г. URL: <http://atlaspacket.vsegei.ru/?v=msb2021> (дата обращения: 16.09.2023).



Его специфика и значение состоят в разработке системы показателей, характеризующих основные процессы добычи, переработки и перевозки природных ресурсов.

Цель исследования состоит в разработке методики балльно-индексной оценки рудного потенциала территории, апробации ее на примере северных субъектов РФ.

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

1) выявить нерешенные проблемы оценивания рудных ресурсов, их добычи и использования на горнодобывающих и металлургических предприятиях;

2) предложить научные подходы к разработке методики балльно-индексной оценки рудных ресурсов применительно к условиям исследуемого района;

3) установить территориальные закономерности в распределении значений рудно-ресурсных потенциалов субъектов РФ, входящих в состав Северного экономического района.

Материалы и методы

Основой для оценки рудных месторождений послужили статистические данные из Государственного доклада «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году» и аналогичного доклада за 2021 г., а также геологические документы по технико-экономическому обоснованию постоянных кондиций (паспорт ГКМ и др.), находящиеся в Федеральной геоинформационной системе «Единый фонд геологической информации о недрах». Часть сведений получена из монографии «Железорудная база России» [19], а также из статей по экономической геологии и экономической географии. Экономические, транспортные и экологические показатели взяты из тематических разделов сайта Росстат («Транспорт», «Национальные счета» и др.).

Использованы такие научные подходы, как сравнительно-географический, статистический и геопространственный. К обработке и визуализации данных привлекались экономико-математические и геоинформационные методы (в программе QGIS).

Результаты исследований

Выявление ПРП исследуемых субъектов РФ проводилось на основе многофакторного анализа месторождений. Сначала рассчитывалось значение рентабельности отдельных месторождений руд каждого типа, затем оно определялось для всех месторождений путем суммирования полученных результатов. По авторской методике балльно-индексного оценивания сравниваемые ресурсы соотносились между собой по различным характеристикам на основе условных шкал (для каждой характеристики собственная шкала), выраженных в баллах. Покомпонентная и интегральная разновидности балльно-индексной оценки позволили сравнить отличительные свойства ресурсов как хозяйственных объектов, а затем перейти к оцениванию ресурсов разных видов.

Оценка осуществлялась в три этапа. На первом этапе производился выбор показателей по трем типам параметров (геолого-технологические,



физико-химические и экономико-географические), причем так, чтобы они отражали основные хозяйственные свойства природного ресурса. Для каждого показателя создавалась балльная шкала и определялись интервалы, характеризующие величину выраженности свойства ресурса. Показателям каждого параметра месторождения присваивались баллы и индексы, которые затем суммировались внутри каждой группы. На втором этапе проводился расчет общей суммы баллов всех типов параметров – итоговый балл месторождения. По его величине (или по сочетанию символов в индексах) определялась степень их рентабельности (эффективности использования) при дальнейшем освоении. Третий этап посвящен выявлению собственно рудного ПРП территории.

Методика оценивания железных руд

Геолого-технологические параметры месторождений железных руд должны характеризовать условия, в которых ведется добыча. На эффективность их освоения влияют размер запасов, глубина залежей, минимальная мощность пластов и угол падения залежи.

Принятая в настоящее время классификация градаций месторождений по объему запасов не отвечает задачам нашего исследования из-за низкой верхней границы (300 млн тонн). Величины интервалов определялись по знаменателю прогрессии, который находится по формуле суммы n -членов геометрической прогрессии:

$$L = \frac{a_1 \cdot (1 - q^n)}{(1 - q)}, \quad (1)$$

где a_1 – величина первого интервала, q – знаменатель прогрессии (умножив его на начальное значение, получим определенный член прогрессии, который является длиной интервала), n – число баллов (определим значение равным четырем, так как месторождения по размерам можно разбить на четыре приблизительно одинаковые группы). В качестве значения a_1 примем 63 млн т, так как для составления шкалы необходимо разделить значения в выборке по группам с максимальным разрывом между ними.

Рассчитав знаменатель прогрессии (он равен 2,05), определим интервалы и значения в баллах: 1) наименьшие по запасам месторождения (менее 445 млн т) – 1 балл; 2) небольшие (от 445 до 574 млн т) – 2 балла; 3) средние (от 574 до 839 млн т) – 3 балла; 4) крупные (более 839 млн т) – 4 балла. Заметим, что эта градация достаточно условна, применяется для месторождения по признаку «величина (объем) запасов».

Вторым показателем, влияющим на себестоимость руды, является глубина залежей. Для градации его интервалов применена классификация горнотехнических условий, предложенных в институте «Центрогипроруда»: от верхнего края осадочной толщи до зоны выветривания. В зависимости от этой величины месторождения могут быть отнесены к трем видам: 1) неглубокого залегания (не более 150 м от поверхности) – 3 балла; 2) средней глубины залегания (150–400 м от поверхности) – 2 балла; 3) глубокого залегания (400–500 и более м от поверхности) – 1 балл.



Другой показатель — угол падения основной толщи горных пород — определяет устойчивость рудных бортов месторождения. По вертикальному углу залежи могут подразделяться на следующие категории [10]: 1) наименее крутые залегания (менее 65°) — 3 балла; 2) средней крутизны (от 65° до 70°) — 2 балла; 3) приближающиеся к отвесному положению (71° и более) — 1 балл. Далее полученные баллы суммируются, и по общему баллу определяется индекс месторождения по геолого-технологическим параметрам: I (высококачественный тип) — от 7 до 9 баллов, II (средний по качеству тип) — от 5 до 6 баллов.

Наиболее значимыми для классификации железорудного месторождения являются *физико-химические свойства руды*, так как они определяют ее качество, от которого зависит способ обогащения, а, следовательно, себестоимость железорудного сырья и выход продуктов обогащения. Содержание железа общего ($Fe_{\text{общ}}$) в рудах определяет требования к обогащению для использования в металлургии. Если железа в руде недостаточно для дальнейшей переработки и производства металлургической продукции, то при помощи методов обогащения из железорудного сырья получают концентрат с повышенным содержанием $Fe_{\text{общ}}$. Исходя из процентного содержания железа в рудах, разделим их на три оценочные группы: бедные (менее 30 %) — 1 балл; средние (30–35 %) — 2 балла; богатые (более 35 %) — 3 балла.

От содержания полезных примесей зависит качество железной руды. Так, легирующие примеси (Ni, Co, Cr, Mn, V и Nb) повышают ее качество для выплавки чугуна и стали [1]. С учетом сказанного предложим следующие градации уровня содержания в железной руде полезных компонентов: низкий (0,5–1 %) — 1 балл; средний (1–2 %) — 2 балла; высокий (более 2 %) — 3 балла.

Содержание вредных примесей влияет на качество руды, осложняет процессы обработки металла и плавку чугуна. Оценим в процентах от общей рудной массы долю вредных примесей (сера и фосфор) по классификации, указанной в ГОСТ Р 52939-2008 «Руды железные товарные необогащенные. Общие технические условия»¹, с уточнениями, указанными в справочнике по обогащению руд черных металлов [27]. Таким образом, значения градаций будут следующими: низкое содержание — 3 балла; среднее содержание — 2 балла; повышенное содержание — 1 балл.

Если в залежах месторождения присутствуют оба элемента, то вычисляется сумма баллов по обоим показателям, а если отсутствуют, — то месторождению присваивается 3 балла. Так, если рудные залежи месторождения получили 2 балла по содержанию серы и 1 балл по фосфору, то итоговое содержание оценивается в 3 балла. Баллы по трем показателям суммируются, и в зависимости от полученного значения определяется индекс месторождения: А (хорошее качество) — 8–12 баллов; В (низкое качество) — 7 и менее баллов.

Последнюю группу оценивания составляет *экономико-географическое положение* (далее — ЭГП). Важно рассмотреть такие показатели, как рас-

¹ ГОСТ Р 52939-2008. Руды железные товарные необогащенные. Общие технические условия». Введ. 15.07.2008. М., 2008.



стояния (по прямой линии и железной дороге) от месторождения до металлургического комбината, объем добычи на главном карьере и дополняющем его карьерах. При этом расстояние следует рассчитывать как средневзвешенное значение всех путей между местами добычи железной руды и ее переработки. Поскольку все карьеры / рудники исследуемых месторождений расположены вблизи горно-обогатительных комбинатов (далее – ГОК), то разница между расстояниями будет небольшой. Тем не менее размах значений (разность наибольшей и наименьшей величины в выборке) этого показателя важен для выявления выгоды расположения карьера относительно ГОК [18]. Градации расстояний определим так: от 2 до 2,5 км – 3 балла; от 2,5 до 3,5 км – 2 балла; более 3,5 км – 1 балл. Особенно важно учитывать расстояние от ГОК до карьера по железнодорожным путям. Оценим его по следующим шкалам: менее 10 км – 3 балла; 10–14 км – 2 балла; более 14 км – 1 балл.

Объем добычи отражает производительность карьера, что влияет на работу ГОК и в конечном счете – на валовой выпуск продукции. Для определения границ интервалов используем классификацию карьерных полей: 1 – 5 млн т/год – 1 балл; 5,1–20 млн т/год – 2 балла; 20,1–30 млн т/год – 3 балла; более 31 млн т/год – 4 балла.

При выставлении оценки по каждому показателю и суммировании оценок трех показателей приходим к выводу о благоприятном или неблагоприятном ЭПП. Так, если сумма баллов меньше 6, то месторождение имеет неблагоприятное ЭПП, а если 6 и более – благоприятное.

На втором этапе проводится суммирование показателей и выставление итоговой оценки относительно рентабельности: наименее рентабельное, рентабельное, наиболее рентабельное. Состояние месторождения определяется по разработанной А.М. Соромотиным шкале [24] с учетом специфики исследуемых железорудных месторождений.

По количеству баллов и значению индексов оценивается рентабельность месторождений, которая влияет не только на его непосредственное использование, но и на экономические показатели ГОК.

Методика оценки алюминиевого сырья

Принимая во внимание дефицит бокситов в России и низкое качество нефелинов, залегающих в пределах исследуемой территории, оценка этих ресурсов важна для характеристики состояния ресурсной базы алюминиевого сырья.

Геолого-технологические параметры. Размер запасов месторождения бокситов и/или нефелинов следует разделить на 3 группы: от 48 до 100 млн т; от 100 до 300 млн т; более 300 млн т. Соответственно, группам присваиваются баллы: первой – 1 балл; второй – 2 балла; третьей – 3 балла.

Глубина залежей бокситов и нефелинов не регламентируется документами по разработке месторождений, однако, поскольку данный показатель влияет на себестоимость добычи, необходимо создать специальную шкалу. Поставим приповерхностным месторождениям 1 балл, максимально глубоким – 3 балла, а тем месторождениям, которые ока-



жуются между ними, — 2 балла. Таким образом, выстраивается следующая шкала: менее 10 м — 1 балл; от 10 до 250 — 2 балла; 250 и более — 3 балла.

Подобным способом выберем интервалы на шкале для угла падения залежей запасов бокситов и нефелинов: менее 5 — 2 балла; более 5 — 1 балл.

Сравнения горно-геологических условий проведем путем суммирования баллов по каждому из показателей. Хорошими источниками ресурса следует считать те, у которых как минимум по двум из трех показателей поставлен высший балл; удовлетворительными — у которых значение одного показателя высшее и одно — среднее; к сложным для освоения отнесем месторождения с одним средним значением. Таким образом, по сумме баллов месторождения делятся на три типа: I (наилучшие для освоения) — 7–8 баллов; II (средние) — 5–6 баллов; III (сложные для освоения) — менее 5 баллов.

Физико-химическая характеристика. Кремниевый модуль (далее — КМ) является одним из наиболее важных показателей, характеризующих качество сырья для производства глинозема. Показатель вычисляется делением доли оксида алюминия на долю оксида кремния (Al_2O_3/SiO_2). Согласно современной классификации «ИТС 11-2022. Производство алюминия», принятой в РФ, бокситы подразделяются на две группы: высокосортные (КМ — более 6) и низкосортные (КМ — менее 6) [8]. Для нефелинов берется обратный показатель (отношение SiO_2 к Al_2O_3) из-за большого количества кремния в породах (оптимальным является отношение менее 3,3 — 3,4) [21]. Нефелины, так же как и бокситы, делятся на два типа — высокосортный и низкокачественный.

Балльная шкала КМ бокситов / нефелинов подразделяется на следующие интервалы: высокосортные — 3 балла; низкокачественные — 1 балл.

Содержание в руде полезных примесей (галлий, ванадий) имеет большое значение при оценивании месторождений, поскольку эти элементы используются во многих отраслях промышленности, например, в производстве полупроводников и в металлургии.

Принимая во внимание отсутствие нормативных документов по классификации алюминиевого сырья в зависимости от содержания полезных примесей, при составлении балльных шкал необходимо опираться на среднее значение доли галлия в руде бокситов и апатит-нефелиновых руд. В случае ванадия необходимо взять интервал значений массовой доли (0,05–0,1) пентоксида ванадия в бокситах, которое может быть извлечено без дополнительных затрат. Так, если содержание полезных примесей в алюминиевом сырье превышает среднее содержание галлия или интервал массовой доли оксида ванадия, то месторождение получает 3 балла, а если оно ниже — 1 балл.

Вредные примеси. Содержащиеся в алюминиевом сырье компоненты, такие как сера и оксид фосфора (P_2O_5), существенно затрудняют процессы технологической схемы глиноземного производства [17]. Поэтому определение величин долей этих веществ от общей массы руды позволяет сравнивать месторождения по сложности переработки добытых бокситов и нефелинов.



Содержание серы в бокситах может составлять до 5 %, однако для способа Байера (наиболее простого и наименее затратного) используются только бокситы с содержанием в 1 % [17]. Таким образом, месторождения по доле серы в составе алюминиевого сырья распределяются следующим образом: более 1 % — 1 балл; около 1 % — 2 балла; менее 1 % — 3 балла.

Уровень находящегося в соединениях бокситов и нефелинов оксида фосфора также оценивается в процентах: более 0,3 % — 1 балл; от 0,3 до 0,1 % — 2 балла; менее 0,1 % — 3 балла.

Для переработки алюминиевого сырья важно, чтобы оно было высокого качества и имело надлежащий процент примесей. Поэтому для включения месторождения в группу «высококачественный состав» большая часть значений показателей (3 из 5) должна находиться в верхнем интервале (самая высокая балльная отметка), еще по одному показателю — в среднем. Отнесение к группе среднего качества возможно при наличии высшего балла по 2-м показателям. Таким образом, месторождения по составу распределяются на 2 группы: А (высококачественные) — 11 баллов и выше; В (среднего качества) — 10 баллов и ниже.

Экономико-географическое положение. Подобно начальным стадиям (добыча и обогащение руды) цикла черной металлургии для управления процессами переработки алюминиевого сырья крайне важна группа показателей, характеризующих мощность разработки месторождения и географическое положение относительно глиноземных заводов. Транспортировать бокситы и нефелины, как и железные руды, достаточно дорого. Так, согласно Прейскуранту 10-01 «Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами»¹, на перевозку бокситов поправочные коэффициенты не дают большого дисконта (0,938 — поправочный коэффициент, приложение 3). Кроме того, бокситы относятся к смерзающимся грузам², что ведет к удорожанию перевозок в зимнее время. Именно поэтому оценка транспортного положения месторождений необходима при выявлении их рентабельности.

По расстоянию до перерабатывающего завода по железнодорожным путям исследуемые месторождения можно разделить на две группы: близкое расстояние (до 50 км) — 3 балла; 2) дальнее расстояние (более 50 км) — 1 балл.

По расстоянию до перерабатывающего завода по прямой линии определяется близость района добычи к центрам переработки, рассчитывается как Евклидово расстояние — нахождением гипотенузы (искомого отрезка между точками) по теореме Пифагора.

¹ Приложение 3. Поправочные коэффициенты к платам за перевозку по российским железным дорогам грузов в прямом железнодорожном сообщении) об утверждении Прейскуранта № 10-01 : постановление ФЭК РФ от 17 июня 2003 г. № 47-т/5. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

² Об утверждении Правил перевозок смерзающихся грузов на железнодорожном транспорте : приказ Министерства путей сообщения РФ от 05.04.1999 г. № 20Ц. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=105> (дата обращения: 21.09.2023).



Шкала расстояний выбиралась, исходя из расположения глиноземных заводов относительно месторождений: менее 10 км — 3 балла; 10 — 30 км — 2 балла; более 30 км — 1 балл.

Показатель объема добычи бокситов и нефелиновой руды характеризует производственную мощность рудников / карьеров и определяет параметры работы горнодобывающей компании. Возможность наращивания объемов рудной массы актуальна, особенно при снижении добычи на других рудниках компании при растущем спросе на ресурс. Так, рост объемов добычи на предприятии «Боксит Тимана» позволил компании РУСАЛ компенсировать негативные последствия от снижения объема добываемых бокситов на предприятии «Североуральский бокситовый рудник»¹.

Определение величин интервалов шкалы показателя осуществляется путем группировки числовых значений месторождений, относящихся к одному числовому порядку: менее 1000 тыс. т — 1 балл; от 1000 до 2100 тыс. т — 2 балла; более 2100 тыс. т — 3 балла.

После выставления и суммирования оценок по показателям, характеризующим ЭПП, делается вывод о преимуществах месторождения алюминиевого сырья: сумма баллов от 7 до 8 — благоприятное (+); сумма баллов 7 и менее — неблагоприятное (-).

Степень эффективности освоения месторождения алюминиевого сырья рассчитывается путем суммирования баллов всех показателей, определяющих качество месторождения, и, соответственно, отображается в индексах. Однако, поскольку связь между величиной содержания основного элемента (Al_2O_3) и полезными примесями отсутствует, необходимо установить правило, исходя из которого, при равной сумме баллов (по физико-химической группе показателей) у двух месторождений более рентабельным будет признано месторождение с более высоким содержанием основного элемента. Учитывая, что максимальный общий балл (наилучший результат) по месторождению равен 32, для достаточно эффективного освоения необходимо, чтобы сумма баллов была более 70 % от этого значения, для среднего по эффективности освоения — между 70 и 60 %, а для неэффективного — 60 % и менее. В зависимости от значения суммы баллов месторождение относят к одному из трех типов: достаточно эффективные для дальнейшего освоения — 22 балла и выше; средняя эффективность — 19 баллов; низкая эффективность — 16 баллов и ниже.

При распределении индексов по степеням рентабельности основополагающим признаком определим состояние физико-химических параметров, как имеющих первостепенное значение для металлургии. Кроме того, необходимо иметь лучшие значения по двум из трех индексов и средние по оставшемуся, чтобы месторождению была присвоена высокая степень рентабельности для дальнейшего освоения. Для отнесения к средней рентабельности достаточно одного высшего значения индекса (A, I или +).

¹ Отчет компании РУСАЛ за 2020 год. С. 26. URL: <https://rusal.ru/upload/iblock/ced/cedfa2353ba3d382c44d641901762b0f.pdf> (дата обращения: 22. 05.2023).



Оценка рудно-ресурсного потенциала территории

После оценки месторождений отдельных природных ресурсов перейдем к следующему этапу оценивания ПРП — сведению значений балльно-индексной оценки месторождений руд разных типов в единую систему (метод балльно-индексного оценивания исходит из возможности сравнения различных по свойствам и происхождению ресурсов между собой по общей шкале). Для этого необходимо ввести поправочные коэффициенты, которые позволят учесть роль природного ресурса в экономике, степень сложности природных условий для освоения территории, а также обеспеченность транспортом.

32

Авторская методика оценивания рудно-ресурсного потенциала региона разработана на основе свойств месторождений руд как компонентов процессов добычи, переработки и транспортировки. При расчете данным способом учитывается значение источника руды для российской сырьевой базы и его вклад в экономику региона.

Одним из главных критериев оценивания выбрана относительная ценность природного ресурса. Для железной руды он составил 2 балла, для алюминиевого сырья — 3. Такие значения подобраны в зависимости от доли черной и цветной металлургии в ВВП РФ¹.

Другой важный критерий оценивания руд — итоговое значение баллов. Этот показатель дает комплексную характеристику месторождения. Основной рудно-ресурсный потенциал территории рассчитывается как произведение двух основных критериев для каждого месторождения с последующим суммированием значений всех месторождений руд каждого субъекта.

Для того чтобы охарактеризовать место рудно-ресурсного потенциала территории в общественно-географическом пространстве, необходимо ввести поправочные коэффициенты, с помощью которых будут учтены условия освоения рудных полезных ископаемых и значения исследуемого сырья для экономики государства и региона. Для этого выбраны следующие показатели для субъектов РФ: плотность железнодорожной сети; роль в ресурсном обеспечении страны; отрасль специализации субъекта; экологический показатель.

Плотность железнодорожной сети измеряется в километрах путей на 10 тыс. км² территории. Шкала интервалов построена, исходя из значений показателя для четырех субъектов с исследуемыми месторождениями руд. Так, 2 балла получают субъекты с плотностью транспортной сети ниже 60 км путей, 1 балл — 60 и более км.

Роль субъекта РФ в ресурсном обеспечении страны выражается через долю (в процентах) полезного ископаемого региона от общих запасов этого природного ресурса в стране. Запасам алюминиевого сырья значения следует присваивать по 10-балльной шкале, представляющий собой упрощение процентной шкалы (например, на территории Республи-

¹ Об утверждении Стратегии развития металлургической промышленности РФ на период до 2030 г. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».



ки Коми расположено 15 % общероссийских запасов бокситов, поэтому субъект получает 1,5 балла). Тот же принцип будет использован и для железных руд.

Отрасль специализации субъекта характеризует влияние различных видов экономической деятельности в формировании ВРП. Несмотря на то, что применение этого показателя ограничено особенностями его результатов и экономико-географическими особенностями, он широко применяется при исследовании ключевых отраслей экономики регионов, как в России [4; 22], так и за рубежом [28; 29]. Рассчитывается по следующей формуле [11]

$$C_{ir} = \frac{a_{ir}}{a_r}, \quad (2)$$

где C_{ir} — коэффициент специализации i -й отрасли в регионе r , a_{ir} — доля региона r в объеме выпуска i -й отрасли страны, a_r — доля региона r в объеме валового выпуска в стране.

При значении $C_{ir} > 1$, выбранная отрасль является отраслью специализации, если $C_{ir} < 1$, то отрасль относится к обслуживающей или к вспомогательной. Однако, если отраслей специализации несколько, то особое значение имеют виды экономической деятельности, у которых значение коэффициента C_{ir} наибольшее.

Определим значение поправочного коэффициента по отношению значений добывающей отрасли к значениям других отраслей экономики субъекта. Так, при наибольшем коэффициенте специализации горно-металлургической отрасли регион получает 3 балла; если по значению C_{ir} добыча полезных ископаемых занимает 2-е место среди других отраслей, то поправочный коэффициент — 2 балла, для более низких мест коэффициента добывающей отрасли — 1 балл; если добыча руды относится к вспомогательной отрасли, то присваивается коэффициент, равный 0,5.

Характер экологических проблем региона в значительной степени зависит от его специализации [3]. Примем допущение, что добыча рудных ресурсов является одной из основных отраслей в регионе (даже если по значению показателя специализации горнодобывающая отрасль относится к вспомогательным). Шкалу градаций для экологического коэффициента выберем исходя из размеров объема отходов от горнопромышленного комплекса и степени вреда для территории. Самый низкий поправочный коэффициент, равный 1, присваивается субъектам с полным отсутствием или низким уровнем отходов при добыче руды. Высший коэффициент, равный 3, присваивается субъектам с наибольшими объемами отходов. Средний коэффициент (2) получает субъект, у которого значение показателя отходов находится в интервале между минимальной и максимальной величинами.

Поправочные коэффициенты можно разделить на ослабляющие и усиливающие. Так, транспортное обеспечение и экологическая уязвимость в северных регионах являются тормозом для развития. Показате-



ли сырьевой базы, которые напрямую влияют на экономику, относятся к драйверам роста. Значения рудно-ресурсного потенциала делятся на первую группу коэффициентов и умножаются на вторую.

Обсуждение результатов

Оценка показателей месторождений железной руды

Оценка по геолого-технологическим параметрам. Большая часть железорудных месторождений получила низкий индекс (II). К основным условиям, осложняющим добычу, относятся большой угол падения толщ и относительно небольшие запасы месторождений (табл. 1). Исключение составляет Корпангское месторождение, которое, несмотря на небольшие запасы, имеет минимальный угол падения продуктивной толщи.

Оценка физико-химических свойств. По качеству почти все месторождения относятся к типу «А» – хорошее качество (табл. 1), однако у двух (Корпангское и Комсомольское) это обусловлено хорошим составом попутных компонентов (низкое содержание вредных примесей), а не общим содержанием железа, что является главным признаком для обогащательной промышленности. Таким образом, большая часть месторождений района имеет труднообогатимые руды, но хорошие по составу примеси. По результатам оценивания также можно сделать вывод о наличии прямой зависимости между содержанием полезного основного компонента и полезных примесей.

Таблица 1

**Балльно-индексная оценка железорудных месторождений
Северного экономического района России**

Месторождение	Размер запасов, млн т	Глубина залегания, м	Угол падения толщи, °	Индекс	Содержание железа, %	Содержание полезных примесей, %	Содержание вредных примесей, %		Индекс
							Сера	Фосфор	
Костомукшское	748,4	35	73	II	32,1	1,99	0,21	0,07	A
Ковдорское	1382,6	50	70	I	25,2	0,6	0,08	2,74	B
Корпангское	485,9	10	59,5	I	29,1	0,27	0,21	0,06	A
Оленегорское	382	20	70	II	33	0,07	0,04	0,04	A
Комсомольское	512	15	69,5	II	29,2	0	0,18	0,05	A

Составлено на основе данных: [19].

Экономико-географическое положение. Несмотря на близость месторождений к ГОК, их ЭГП невыгодно (табл. 2). Такой вывод объясняется северными условиями: сложным рельефом местности (заболоченные понижения рельефа), малыми производственными мощностями карьеров, сложными гидрогеологическими условиями и тектоническим строением, суровостью климата.



Таблица 2

Балльно-индексная оценка экономико-географических условий освоения железорудных месторождений Северного экономического района России

Месторождение	Расстояние по автомобильным дорогам, км	Расстояние по железнодорожным путям, км	Объем добычи, млн т	Индекс
Костомукшское	3,1	14,3	19,8	–
Ковдорское	3,8	0	12,8	–
Корпангское	3,1	14,3	15,5	–
Оленегорское	2,7	11,6	4,8	–
Комсомольское	2,7	11,6	4,0	–

35

Составлено на основе данных: [5; 9].

По результатам балльно-индексной оценки выявлено, что большая часть железорудных месторождений относится к среднерентабельным, одно (Ковдорское) имеет низкую рентабельность при освоении. В целом предприятия черной металлургии района имеют среднюю по качеству ресурсную базу.

Оценка показателей месторождений алюминиевого сырья

Оценка по геолого-технологическим параметрам. Сложные геологические условия залегания руд и специфика их локализации во вмещающих породах затрудняют добычу алюминиевого сырья [6]. Значения показателей сильно различаются (то есть имеют большой размах выборки), особенно по запасам (табл. 3). Месторождения Хибинской группы отличаются от остальных по геологическому строению и происхождению.

Таблица 3

Балльно-индексная оценка месторождений бокситов и нефелиновых руд Северного экономического района России

Месторождение	Размер запасов, млн т	Глубина залегания, м	Угол падения тощи, °	Индекс	Кремниевый модуль	Содержание полезных примесей		Содержание вредных примесей, %		Индекс
						Ga (г/т)	V, %	S	P ₂ O ₅	
Иксинское	250,6	70,0	0	II	3,1	46,3	0,095	0,24	0,08	B
Вежаю-Ворыквинское	88,1	менее 10	10	II	6,4	59,6	0,007	0,02	0,47	A
Верхне-Щугорское	60,0	87,0	3	II	7,4	60,2	0,04	0,04	0,04	A
Хибинская группа	3209,3	420	29	II	1,1	62,0	0,04	0	16,4	A
Восточное	48,1	252,5	4	III	6,78	56,3	0,04	0,05	0,16	A

Составлено на основе данных: [5], единого фонда геологической информации о недрах¹.

¹ Единого фонда геологической информации о недрах : [сайт]. URL: <https://efgi.ru> (дата обращения: 15.05.2022).



Оценка по физико-химическим свойствам. По данному параметру все месторождения алюминиевого сырья имеют хорошее качество за исключением Иксинского месторождения (табл. 3), которое отличается высоким содержанием оксида кремния и серы. Большое количество вредных примесей на этом месторождении связано с особенностями образования бокситов – путем проточного (горизонтального) гидролиза нижележащих осадков и последующего осаждения в виде слоев с другими породами. Следует отметить и значительную долю пятиоксида фосфора в руде месторождений Хибинской группы (однако там практически отсутствует сера), поэтому основное добываемое сырье из рудников этой группы – апатиты.

Экономико-географическое положение. Расположение месторождений в основном неблагоприятное, за исключением Иксинского и Хибинской группы (табл. 4). Это связано с их удаленностью от центра переработки, который исторически сформировался на Урале (Богословский глиноземный завод). Что касается объемов добычи, зависящих от мощностей рудников, то почти все месторождения имеют средние значения показателя, так как этого достаточно для обеспечения рынка рудой (особенно, учитывая колебания в 2020–2023 гг., связанные с экономическим кризисом постковидного периода и мировой геополитической нестабильностью). Возможной причиной наименьшего объема добычи Иксинского месторождения является деятельность добывающей компании «Северо-Онежский бокситовый рудник», которая из-за небольших объемов производства и размеров прибыли не может увеличить мощность карьера.

Таблица 4

**Балльно-индексная оценка экономико-географических условий
освоения месторождений бокситов и нефелиновых руд
Северного экономического района**

Месторождение	Расстояние по автомобильным дорогам, км	Расстояние по железнодорожным путям, км	Объем добычи, (2022), млн т	Индекс
Иксинское	7	7,0	527	+
Вежаю-Ворьквинское	691	1785,0	2004	-
Верхне-Щугорское	690	1785,0	2092	-
Хибинская группа	24	16,6	34182	+
Восточное	620	1785,0	1200	-

Составлено на основе данных: ФГБУ Росгеолфонд¹ и Недра-Эксперт².

¹ Электронный каталог геологических документов // ФГБУ Росгеолфонд. URL: <https://www.rfgf.ru/catalog/index.php> (дата обращения: 15.11.2023).

² Недра-Эксперт : [сайт]. URL: <https://www.nedraexpert.ru/search> (дата обращения: 15.11.2023).



При оценке ресурсов алюминиевого сырья выявлены средние характеристики месторождений, за исключением высокорентабельной Хибинской группы, расположенной в Мурманской области. С учетом повышения в 2024 г. спроса на алюминий¹ добыча продолжится. После завершения эксплуатации Верхне-Щугорского месторождения рекомендуется приступить к освоению Восточного месторождения, поскольку оно имеет физико-химический состав высокого качества.

Итоговая балльно-индексная оценка исследуемых регионов

Расчитанные по комплексной методике значения рудно-ресурсных потенциалов субъектов Северо-Западного федерального округа имеют достаточно большой размах (табл. 5) — 224 итоговых балла, что указывает на сильную диспропорцию ресурсной базы руд горнодобывающей промышленности в районе (рис.).

37

Таблица 5

Значения рудно-ресурсного потенциала субъектов Северо-Западного федерального округа Российской Федерации

Субъект РФ	Значение потенциала без поправочных коэффициентов	Итоговое значение
Архангельская область	72	32
Республика Коми	186	140
Мурманская область (железо)	118	256
Мурманская область (алюминий)	72	
Республика Карелия	86	86

У субъекта с лучшими показателями бокситовых месторождений (Республика Коми) факторами, осложняющими развитие территории, являются транспортное обеспечение и незначительный вклад в ресурсное обеспечение страны. Напротив, у Мурманской области совокупный балл рентабельности месторождений алюминиевого сырья ниже, и есть серьезные проблемы с отходами руд, но с учетом больших объемов нефелиновых и железных руд итоговая оценка рудно-ресурсного потенциала самая высокая в выборке (256 баллов). Архангельская область обладает средними по качеству запасами бокситов, слабо обеспечена железнодорожными путями. Республика Карелия имеет хорошие показатели железорудных месторождений, которые оказывают значительное влияние на региональную экономику. С учетом значения запасов для российской железорудной базы, а также проблем с экологией эта республика оказалась по уровню ПРП на третьем месте.

¹ Устойчивый спрос в Китае поддерживает цены на медь и алюминий // Прайм. 06.10.2023. URL: https://1prime.ru/Financial_market/20231006/841907859.html (дата обращения: 23.12.2023).



Рис. Результат балльно-индексной оценки регионов северо-запада РФ

Заключение

Рудное сырье имеет важное значение для экономики ресурсной специализации северо-европейских регионов, поэтому необходимы комплексная оценка свойств руд и расчет рудного потенциала территории.

Средняя рентабельность большинства месторождений обусловлена геологическими условиями залегания рудных полезных ископаемых и экономико-географическим положением. Именно эти группы показателей состояния рудных ресурсов имеют в районе наихудшие значения.

Рудно-ресурсный потенциал территории зависит от количества и разнообразия месторождений, их значения для экономики страны. Рентабельность освоения месторождений также значима для оценки рудно-ресурсного потенциала. Выделим еще транспортную обустроенность региона, а также влияние добычи на экологическое состояние территории.

В Северном экономическом районе только месторождения Мурманской области имеют высокую рентабельность, а остальные — средний уровень. Вторым по значению рудно-ресурсным регионом выступает Республика Коми. Место этих регионов в градации уровней рудно-ресурсного потенциала обусловлено геологическими причинами.

Список литературы

1. Аликберов В.М., Тигунов Л.П. Природно-легированные железные руды России: состояние и перспективы использования в металлургии легированных чугунов и сталей // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. №5 (1421). С. 3–13. EDN: XRAHQ7.



2. Бакланов П. Я. Территориальные структуры хозяйства в региональном управлении. М., 2007. EDN: VOEYLG.

3. Бурматова О. П. Методология и инструментарий анализа эколого-экономических аспектов регионального развития. Новосибирск, 2021. EDN: DVLVGP.

4. Головин В. А. Идентификация и оценка эффективности развития экономических кластеров региона : дис. ... канд. экон. наук. Екатеринбург, 2021. EDN: DSECTF.

5. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году: железные руды и алюминиевое сырье. URL: <https://gd2021.data-geo.ru/nfm/al> (дата обращения: 15.05.2022).

6. Жиров Д. В. Новая интерпретация тектоники фойдолитового комплекса Хибин и ресурсный потенциал фосфатов // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2020. №17. С. 184–189. doi: 10.31241/FNS.2020.17.034. EDN: NDYLMQ.

7. Зайцев И. Ф., Изюмский О. А. Природные ресурсы – на службу экономическому прогрессу. М., 1972.

8. ИТС 11-2022. Производство алюминия. URL: https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1845&etkstructure_id=1872 (дата обращения: 01.06.2022).

9. Кантемиров В. Д., Тутов Р. С., Яковлев А. М. Основные тенденции производства железорудного сырья в России // Горная промышленность. 2018. №1 (137). С. 72. doi: 10.30686/1609-9192-2018-1-137-72-74. EDN: YVOSGE.

10. Кологривко А. А. Подземные горные работы : учеб. пособие. Минск, 2006.

11. Куценко Е., Ефериш Я. «Водовороты» и «тихие гавани» в динамике отраслевой специализации регионов России // Форсайт. 2019. Т. 13, №3. С. 24–40. doi: 10.17323/2500-2597.2019.3.24.40. EDN: ZYRCUV.

12. Лебедева М. А. Теоретико-методологические аспекты оценки природно-ресурсного потенциала // Журнал экономических исследований. 2019. Т. 5, №3. С. 25–35. EDN: FLPJQT.

13. Лопатина Е. Б., Назаревский О. Р. Вопросы региональной комплексной экономической географии // Известия АН СССР. Сер.: География. 1966. №1. С. 99–108.

14. Лукин Е. В. Черная металлургия Северо-Запада России: тенденции и проблемы развития // ЭКО. 2021. №10 (568). С. 110–132. doi: 10.30680/ECO0131-7652-2021-10-110-132. EDN: KDSBSO.

15. Лукин Е. В. Экономика Северо-Запада России: в поисках перспективной специализации // ЭКО. 2023. №8 (590). С. 8–34. doi: 10.30680/ECO0131-7652-2023-8-8-34. EDN: TJXJR.

16. Миц А. А. Экономическая оценка природных ресурсов. Научно-методические проблемы учета географических различий в эффективности использования. М., 1972.

17. Мицис М. Я. Производство глинозема. Новосибирск, 2012.

18. Наговицын Г. О. К вопросу о переходе на подземное транспортирование руды при разработке глубоких карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. №4. С. 218–228. EDN: YJUCVX.

19. Орлов В. П. Железородная база России. М., 2007.

20. Приложение № 2. О государственной экспертизе запасов полезных ископаемых и подземных вод, геологической информации о предоставляемых в поль-



зование участках недр, об определении размера и порядка взимания платы за ее проведение : постановление Правительства РФ от 1 марта 2023 г. №335. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

21. *Приложение №21*. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (алюминиевых руд) : распоряжение МПР РФ от 5 июня 2007 г. №37-р. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

22. *Прокопьев Е. А.* К вопросу о выборе данных для определения специализации региона // Друкеровский вестник. 2015. №4 (8). С. 236–245. doi: 10.17213/2312-6469-2015-4-236-245. EDN: UMYNJВ.

23. *Реймерс Н. Ф.* Экология: теории, законы, правила, принципы и гипотезы. М., 1994.

24. *Соромотин А. М.* Нефтегазовые ресурсы как фактор социально-экономического развития Ленского района Республики Саха (Якутия) : дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2015. EDN: FJOUJH.

25. *Субботина Т. В., Шарыгин М. Д.* Оценка природно-ресурсного потенциала — предпосылка социально-экологического развития региона // Проблемы и перспективы географических исследований: юбилейный сборник научных трудов. 2001. С. 52–61.

26. *Чистобаев А. И.* Развитие экономических районов: теория и методы исследования. Ленинград, 1980.

27. *Шинкоренко С. Ф., Белецкий Е. П., Ширяев А. А. и др.* Справочник по обогащению руд черных металлов. 2-е изд., перераб. и доп / под ред. С. Ф. Шинкоренко. М., 1980.

28. *Fracasso A., Marzetti G. V.* Estimating dynamic localization economies: The inadvertent success of the specialization index and the location quotient // *Regional Studies*. 2018. 52. P. 119–132. doi: 10.1080/00343404.2017.1281388.

29. *Kopczewska K., Chursk P., Ochojski A., Polko A.* Measuring Regional Specialisation: A New Approach // Cham, Switzerland: Palgrave Macmillan. 2017. doi: 10.1007/978-3-319-51505-2.

30. *Leveil H., Hay J., Bas A. et al.* Coût d'opportunité versus coût du maintien des potentialités écologiques: deux indicateurs économiques pour mesurer les coûts de l'érosion de la biodiversité // *Natures Sciences Sociétés*. 2012. Vol. 20, №1. P. 6–29. doi: 10.1051/nss/2012003.

31. *Missemer A.* Natural Capital as an Economic Concept, History and Contemporary Issues // *Ecological Economics*. 2018. Vol. 143. P. 90–96. doi: 10.1016/j.ecolecon.2017.07.011.

Об авторе

Федор Максимович Ренни — асп., Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Россия.

ORCID: 0000-0001-8195-5818

E-mail: fedor.renni@mail.ru

SPIN-код: 5298-4077



F. M. Renni

THE CONCEPTUAL PROVISIONS FOR THE POINT-INDEX
ASSESSMENT OF ORE RESOURCES
IN THE NORTHERN ECONOMIC REGION OF RUSSIA

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

Received 13 January 2026

Accepted 24 March 2026

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-2

41

For cite this article: Renni F. M., 2026, The Conceptual Provisions for the Point-Index Assessment of Ore Resources in the Northern Economic Region of Russia, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №2. P. 23–41. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-2.

The purpose of the study is the experimental development of a score-index methodology for assessing iron ore and aluminum raw material deposits as components of mineral resources, as well as its testing in the territories comprising the Northern Economic Region of Russia. The study draws upon extensive statistical and factual material contained in regulatory and legal documents, as well as in scholarly sources. The main characteristics of mineral resources are presented as of 2022. It is shown that the score-index assessment methodology is aimed at analyzing a resource as a system of components expressed through various properties of natural bodies. With regard to deposits of iron ore, bauxites, and the nepheline component of complex apatite-nepheline ores, a staged assignment of scores and indices reflecting the qualitative and quantitative characteristics of resources according to special scales is substantiated. The scores obtained in this way are successively summed, and, on the basis of the resulting final value, the efficiency and prospects for the further development of the deposits are determined. It has been established that the most profitable deposits are represented by nepheline ores in the Murmansk Region and bauxites in the Komi Republic, while iron ores located in the Republic of Karelia and the Murmansk Region demonstrate medium profitability. Using the author's methodology, which takes into account the most important characteristics of mineral resources and the economic-geographical factors affecting the development of the mining industry, the mineral resource potential of the regions was calculated: the Murmansk Region and the Komi Republic possess the highest potential, whereas the Republic of Karelia and the Arkhangelsk Region demonstrate lower values. The obtained results may be used in strategic spatial planning and in managing the regional development of the resource-based economy of the Northern Economic Region of Russia.

Keywords: natural resource potential, iron ores, bauxites, apatite-nepheline ores, the profitability of ore deposits, the assessment of ore resources, the ore potential of the territories

The author

Fedor M. Renni, PhD student, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, Russia.

ORCID: 0000-0001-8195-5818

E-mail: fedor.renni@mail.ru

SPIN-code: 5298-4077