

УДК 330

Методические подходы к экономическому моделированию эффективной дальности транспортировки общераспространенных полезных ископаемых

Канд. экон. наук **Пешкова Г.Ю.** gpu@guap.ru

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

Реализация потенциала и расширение сырьевой базы общераспространенных полезных ископаемых является одним из значимых факторов устойчивого развития промышленности регионов. Недостаточная степень проработки вопросов влияния транспортных факторов на коммерческую эффективность разработки новых месторождений полезных ископаемых приводит к искаженным результатам, которые не позволяют провести адекватную оценку целесообразности реализации подобных проектов. В работе предложена экономико-математическая модель, позволяющая оценить эффективную дальность транспортировки общераспространенных полезных ископаемых на основе ряда технико-экономических критериев.

Ключевые слова: инвестиционная привлекательность, месторождения, общераспространенные полезные ископаемые, дальность транспортировки, экономико-математическое моделирование.

DOI:10.17586/2310-1172-2016-9-4-1-6

Methodical approaches to economic modeling of the common minerals effective transport range

Ph.D. **Peshkova G.Yu.** gpu@guap.ru

Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
190000, Russia, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya St., 67, lit. A

Realizing of the potential and expanding the raw material base of common minerals is one of the important factors of the regional industries' sustainable development. Insufficient study of the transport factors impact on the commercial efficiency of the new mining projects leads to distortion of the results. It does not allow assessing the feasibility of such projects. The paper presents the economic-mathematical model that allows assessing the effective range of common minerals transportation based on technical and economic criteria.

Keywords: investment attractiveness, deposit, common minerals, transportation range, economic and mathematical modeling.

Введение

Реализация потенциала региональных промышленных комплексов в значительной степени зависит от наличия стабильных поставок необходимого количества ресурсов. Развитие ресурсной базы, в свою очередь, требует привлечения значительного объема финансовых средств [1], что определяет актуальность вопросов разработки адекватных подходов к оценке инвестиционной привлекательности месторождений полезных ископаемых [2]. В частности, относящихся к общераспространенным полезным ископаемым (ОПИ), играющим заметную роль в развитии строительной, химической энергетической и ряда других базовых отраслей промышленности [3]. К ОПИ относят неметаллические и горючие полезные ископаемые, запасы которых имеются в значительном количестве на территории конкретного региона и которые используются для удовлетворения нужд местных производств [4]. Региональные перечни ОПИ, определяются по каждому субъекту РФ и утверждаются Министерством природных ресурсов и экологии и органом исполнительной власти субъекта [5]. В основном к ОПИ относят: гальку, гравий, гипс, глины доломиты, известняки, кварцит, пески, песчаники, сланцы и другие.

Существенной особенностью ОПИ является их локальный характер. То есть они, как правило, находят применение в районе добычи. Так, например, глины являются дешевым видом минерального сырья, однако их перевозка на дальние расстояния экономически неэффективна [6], в связи с чем кирпичные и черепичные заводы, строятся непосредственно на месторождении, либо в непосредственной близости от него, при наличии необходимой инфраструктуры. Локальный характер использования ОПИ определяет высокую зависимость между производственной мощностью предприятия и спросом на сырье, который может значительно изменяться под

влиянием сезонных факторов. Вместе с тем, производственная мощность таких месторождений в незначительной степени связана с геологическим строением, в отличие от большинства других полезных ископаемых [7]. Зависимость производственной мощности предприятия от региональной конъюнктуры рынка определяет необходимость применения высокоэффективных методов решения логистических задач, так как добыча большинства ОПИ характеризуется относительно низкими удельными затратами. Иными словами, логистические затраты, составляющие до 80 % конечной стоимости ОПИ, могут состоять на 50–80 % из затрат на транспортировку [8]. Это говорит о том, что эффективность управления и планирования процессом транспортировки напрямую влияет на инвестиционную привлекательность разработки новых месторождений ОПИ [9] (рис. 1), что в свою очередь отражается на инвестиционной политике региона [10].

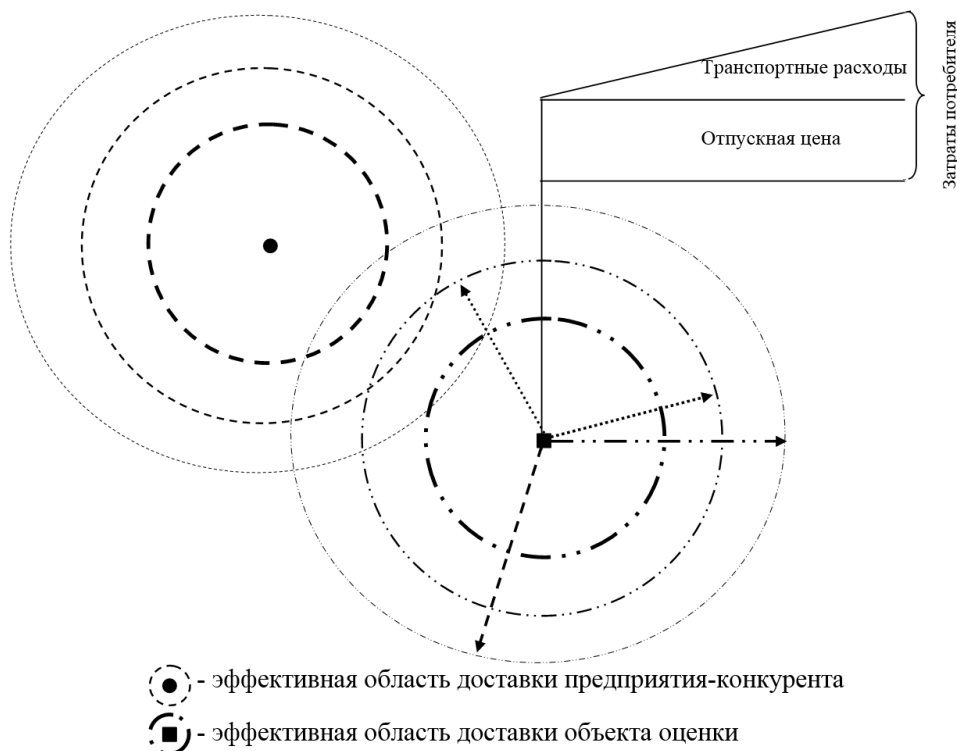


Рис. 1. Схематическое обоснование актуальности поиска эффективной дальности транспортировки

Конечная цена любой продукции складывается из двух элементов: отпускной цены со склада предприятия и стоимости транспортировки до определенного места сбыта (условия передачи продукции, как правило, определяются правилами Инкотермс [11]). Сегодня при оценке экономической эффективности освоения новых месторождений ОПИ цена реализации, как правило, определяется без должного внимания к транспортным затратам, что в значительной степени искажает результаты оценки [12].

Методические подходы к решению транспортных задач

Модели оптимизации производства продукции с учетом грузопотоков при условии линейной зависимости показателей эффективности плана от объемов производства и перевозок могут строиться на основе открытой транспортной задачи линейного программирования [13]. Наиболее распространенную постановку транспортной задачи можно представить следующим образом:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i, i = 1 \dots m; \tag{1}$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq b_j, j = 1 \dots n; \tag{2}$$

$$\sum x_{ij} \geq 0, i = 1 \dots m, j = 1 \dots n; \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n s_{ij} x_{ij} \Rightarrow \min, \tag{4}$$

где x_{ij} – искомые объемы перевозок продукции из пункта i в пункт j ; a_i – наличие продукции в пункте i ; b_j – спрос на продукцию в j -м пункте потребления; s_{ij} – удельные (на единицу продукции) затраты на доставку продукции из пункта i в пункт j .

Транспортная задача называется закрытой, если $\sum a_i = \sum b_j$. При этом условия (1) и (2) становятся равенствами. Если $\sum a_i \neq \sum b_j$, то задача приводится к закрытому типу путем введения дополнительных условий, обозначающих наличие фиктивного пункта потребления (если $\sum a_i > \sum b_j$), либо фиктивного пункта производства (если $\sum a_i < \sum b_j$) [14]. Ключевым достоинством задач подобного типа является простота их решения (по сравнению с симплексным методом), которое разделяется на два этапа: построение опорного плана (методы «Северо-Западного угла», минимальной стоимости, Фогеля и др.) и нахождение оптимального плана (методы потенциалов, прямоугольников и др.) [15].

Подобные транспортные задачи получили развитие в производственно-транспортных моделях, которые, помимо оптимизации логистических процессов, включают определенные производственные планы/ограничения/затраты. В качестве примера, производственно-транспортную модель можно задать следующим образом:

$$x_i \geq \sum_{j=1}^n x_{ij}, \quad i = 1 \dots m; \tag{5}$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq b_j, \quad j = 1 \dots n; \tag{6}$$

$$x_i \leq a_i; \quad i = 1 \dots m; \tag{7}$$

$$x_i, x_{ij} \geq 0; \quad \forall i, j; \tag{8}$$

$$\sum_{i=1}^m c_i x_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n s_{ij} x_{ij} \Rightarrow \min, \tag{9}$$

где x_i – объем производства в пункте i ; c_i – удельные производственные затраты в пункте i ; a_i – максимально возможный объем выпуска продукции в пункте i .

Подобные задачи можно свести к транспортной задаче, с тем различием, что целевая функция (4) будет включать не только удельные транспортные, но и удельные производственные затраты:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (s_{ij} + c_i) x_{ij} \Rightarrow \min \tag{10}$$

В такие задачи могут быть также добавлены определенные ресурсные ограничения. Общий ход их решения не меняется за тем исключением, что после нахождения оптимального плана необходимо оценить существенность ресурсного ограничения и установить, при необходимости, пути экономии ограниченных ресурсов.

В случае если процесс принятия решения разбивается на отдельные этапы, то задачи относят к задачам динамического программирования [16]. Примером задач, решаемых с помощью динамического программирования, могут быть такие, как прокладка максимально выгодного пути между несколькими пунктами (задача Коммивояжера [17]), построение стратегии развития предприятия за определенный промежуток времени и т.п. Уточним, что под «динамическим программированием» понимается не перечень конкретных задач, а способ их решения. Таким образом, стандартные транспортно-производственные модели в большей степени ориентированы на оптимизацию объемов производства и на сокращение удельных транспортных расходов. Вместе с тем, на практике, подобные модели могут применяться только со значительной доработкой и уточнением региональной и производственной специфики. В данной работе предложена экономико-математическая модель определения максимальной эффективной дальности транспортировки ОПИ, которая,

в зависимости от целей проведения анализа и объекта исследования, может быть адаптирована с минимальной доработкой условий и ограничений.

Экономико-математическая модель определения эффективной дальности транспортировки ОПИ.

Как было сказано выше, ОПИ реализуются в близлежащих от района добычи регионах, а их транспортировка осуществляется, как правило, автомобильным транспортом (в исключительных случаях – речным, либо железнодорожным). Исходя из этого, отсутствует необходимость усложнения модели условиями выбора типа транспорта. В самом первом приближении максимальная дальность транспортировки может быть определена исходя из следующих условий:

$$l \rightarrow \max; \tag{11}$$

$$C + l * t \leq Ц, \tag{12}$$

где l – расстояние транспортировки, км; C – отпускная цена (с завода), руб./т; t – удельные затраты на транспортировку 1 т. ОПИ, руб./км.; $Ц$ – средняя рыночная цена продукции в регионе, руб./т.

Критерий (11) определяется исходя необходимости расширения рынка сбыта. Однако, в связи с тем, что транспортные расходы могут составлять более половины стоимости продукции, критерий (11) должен быть ограничен условием (12), которое предполагает не превышение средней рыночной цены. Таким образом, максимальная дальность транспортировки будет определена при равенстве цены реализации и средней рыночной цены.

Не вызывает сомнений тот факт, что реальные производственно-сбытовые системы не могут функционировать на основе такой простой модели в силу воздействия значительного количества разнонаправленных факторов [18]. Кроме того, наличие потенциальной возможности доставить продукцию на расстояние l_{max} не означает необходимость делать это. В связи с этим, для определения эффективной дальности транспортировки предлагается использовать оптимизационную математическую модель, общий вид которой можно представить следующим образом:

$$\sum_{i=1}^n l_i \Rightarrow \max; \tag{13}$$

$$\frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n l_{ij} * t_{ij} * V_{ij} * k_{ij}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n V_{ij} * k_{ij}} \Rightarrow \min; \tag{14}$$

$$\sum_{j=1}^m Q_j \geq \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n V_{ij} * k_{ij}; \tag{15}$$

$$C + l_i * t_i \leq Ц_i; \tag{16}$$

$$V_i > 0; l_i > 0; k_i \in Z^+, \tag{17}$$

где n – количество потенциальных пунктов сбыта; m – количество месяцев (12); l_{ij} – расстояние транспортировки до i -го пункта сбыта в j -м периоде, км; t_{ij} – удельные затраты на транспортировку 1 т. ОПИ до i -го пункта в j -м периоде, руб./км.; V_{ij} – объем ОПИ, транспортируемых за 1 рейс в i -ый пункт в j -м периоде, ед.; k_{ij} – количество рейсов, необходимых для удовлетворения спроса в i -м пункте, в j -м периоде, ед.; Q_j – объем производства, т. Критерий (13), по аналогии с (11) характеризует максимизацию территориального охвата. Учитывая, что дальность транспортировки предлагается определять до каждого конкретного пункта, то необходимо введение условия, что суммарная дальность транспортировки должна максимизироваться за счет увеличения пунктов сбыта, а не за счет усложнения маршрутов. Это условие включено в критерий (14), который предполагает минимизацию средних удельных затрат на транспортировку.

$V_{ij} * k_{ij}$ определяется исходя из потребностей в ОПИ i -го пункта с учетом индекса сезонности (т.е. объем производства будет равен суммарным потребностям всех пунктов сбыта). При этом если рассмотреть отдельно задачу выбора транспорта (например, на основе формулы равновыгодной дальности транспортировки), количество необходимых рейсов может значительно изменяться.

Отметим, что минимизация средних удельных затрат на транспортировку не эквивалентна минимизации времени доставки груза, либо расстояния транспортировки, что связано с наличием инфраструктуры, ее качественными характеристиками и плотностью транспортных потоков, которые зачастую могут играть решающую роль в выборе маршрута доставки [19]. Необходимо также учесть, что в различных пунктах уже могут иметься поставщики ОПИ, реализующие аналогичную продукцию по более низкой цене. Так, ограничение (16) предполагает, что доставка продукции в i -й пункт будет эффективна, если конечная цена будет ниже, чем у конкурентов, либо равна ей. В случае, если аналогичная продукция не реализуется в i -м пункте, значение C_i принимается на уровне среднерыночной цены.

Заключение

ОПИ играют существенную роль в развитии промышленности России. Практика разработки месторождений ОПИ показывает, что значительная часть стоимости конечной продукции зависит от транспортной составляющей. Вместе с тем, вопросы определения эффективной дальности доставки промышленной продукции практически не поднимаются в научной литературе, а базовые транспортные модели не позволяют учесть комплекс разнонаправленных факторов, оказывающих влияние на процесс транспортировки. В связи с этим предложена экономико-математическая модель, позволяющая определить максимальную дальность транспортировки продукции месторождений ОПИ, исходя из наличия предприятий-конкурентов, среднерыночной цены продукции, стоимости транспортировки и сезонных колебаний спроса.

Литература

1. Пешкова Г.Ю., Череповицын А.Е. Методический подход к формированию стратегических программ освоения месторождений полезных ископаемых местного значения // Вестник Северо-Кавказского Федерального Университета. 2015. С. 148–151.
2. Васильцова В.М., Цветков П.С. Эффективность реализации стратегии горно-добывающего предприятия // Записки Горного института. 2014. Том 208. С. 193–197.
3. Федосеев С.В., Череповицын А.Е. «Оценка совокупного стратегического потенциала базовых отраслей промышленности Арктической зоны хозяйствования России» // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2014. Т. 17. № 3. С. 598–605.
4. Распоряжение Государственной геологической службы Министерства природных ресурсов РФ от 7 февраля 2003 г. N 47-р. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98193/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/
5. Садовников Н.И. Правовое регулирование геологического изучения недр в Российской Федерации // дисс. на соиск. степени к.ю.н., Москва, 2015. URL:http://www.izak.ru/theme/upload/dissertaciya-sadovnikov_12_02_2015_973c5e2ca64a413738dd9e7b12ed13ef.pdf
6. Череповицын А.Е., Синьков Л.С., Смирнова Н.В. Концепция инновационной стратегии развития минерально-сырьевого комплекса негорнопромышленного региона (на примере Ленинградской области) // Вестник ЦКР Роснедра. 2011. № 3. с. 32–37.
7. Лютягин Д.В. Геолого-экономическое обоснование вовлечения в отработку месторождений общераспространенных полезных ископаемых // автореф. дисс. на соиск. степ.к.э.н., Москва, 2006. URL: <http://economy-lib.com/geologo-ekonomicheskoe-obosnovanie-vovlecheniya-v-otrabotku-mestorozhdeniy-obscherasprostranennyh-poleznyh-iskopaemyh>
8. Данилова С.Ю. Моделирование транспортно-логистической системы химических предприятий с непрерывным циклом производства // дисс. на соиск. степ. к.э.н., Тольятти, 2015. URL:<http://www.sseu.ru/wp-content/uploads/2015/04/Dissertatsiya-Danilovoy-S.YU..pdf>
9. Череповицын А.Е. Стратегия развития промышленности строительных материалов (на примере промышленности строительных материалов Ленинградской области) // дисс. на соиск. степ. к.э.н., Санкт-Петербург, 2000.
10. Дудина Е.В., Неврова О.Н. Транспортная логистика: снижение затрат на транспортировку грузов // Вестник ОрелГИЭТ. 2011. № 2 (16). с. 12–16.
11. Расшифровка терминов Инкотермс. Custom Cargo Clearance official website. URL: <http://cc-customs.ru/poleznaja-informacija/30-inkoterms-udobnaya-tablitsa>
12. Череповицын А.Е. Возможности минерально-сырьевого комплекса Ленинградской области и его роль в формировании кластеров конкурентоспособности региона // Современные аспекты экономики. 2004. №4 (55).
13. Блам Ю.Ш., Машикина Л.В. Модели и методы прикладного анализа (производственные системы): учебно-методический комплекс к курсу // НГУ, Новосибирск, 2008. URL: <http://econom.nsc.ru/efnsu/Mimpa2.htm>
14. Никифоров В.В. Логистика. Транспорт и склад в цепи поставок. –М.: ГроссМедиа, 2008, 192с. URL: http://www.e-reading.club/bookreader.php/89646/Nikiforov_-_Logistika._Transport_i_sklad_v_cep_i_postavok.html

15. Симаков Е.Е., Ким Е. Решение транспортных задач с применением программирования в системе MathCAD // Молодой ученый. 2014. №5. С. 8–13.
16. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. – М.: Наука, 1965. – 460 с.
17. Гараба И.В Сравнительный анализ методов решения задачи коммивояжера для выбора маршрута прокладки кабеля сети кольцевой архитектуры // Молодежный научно-технический вестник 2013 № 11.
18. Цветков П.С. Проблемы оценки экономической устойчивости горнодобывающих предприятий // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2014. № 5 (89). с. 132–136.
19. Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков // Автоматика и Телемеханика. 2003. № 11. с. 3–46.

References

1. Peshkova G.Yu., Cherepovitsyn A.E. Methodical approach to formation of strategic programs of development of mineral deposits of local value//*Messenger of the North Caucasian Federal University*. 2015. P. 148-151.
2. Vasiltsova V.M., Tsvetkov P. S. Efficiency of realization of strategy of the mining enterprise//*Note of Mining institute*. 2014. Volume 208. P. 193-197.
3. Fedoseyev S.V., Cherepovitsyn A. E. «Assessment of cumulative strategic potential of key branches of the industry of the Arctic zone of managing of Russia» //*Bulletin of the Murmansk state technical university*. 2014. T. 17. No. 3. P. 598-605.
4. Order of the Public geological service of the Ministry of natural resources РФот on February 7, 2003 N 47-p. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98193/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/
5. N.I. gardeners. Legal regulation of geological studying of a subsoil in the Russian Federation//a yew. on соиск. degrees PhD in Law, Moscow, 2015. URL:http://www.izak.ru/theme/upload/dissertaciya-sadovnikov_12_02_2015_973c5e2ca64a413738dd9e7b12ed13ef.pdf
6. Cherepovitsyn A.E., Sinkov L.S., Smirnova N.V. The concept of the innovative strategy of development for a mineral and raw complex of not mining region (on the example of the Leningrad region)//the TsKR ROSNEDRA Bulletin. 2011. No. 3. P. 32-37.
7. Lyutyagin D. V. Geological economic justification of involvement in working off of fields of popular minerals//автореф. yew. on соиск. степ.к.э.н., Moscow, 2006. URL: <http://economy-lib.com/geologo-ekonomicheskoe-obosnovanie-vovlecheniya-v-otrabotku-mestorozhdeniy-obscherasprostranennyh-poleznyh-iskopaemyh>
8. Danilova of Page Yu. Modeling of transport and logistics system of the chemical companies with a continuous cycle of production//a yew. on соиск. степ. PhD Econ., Togliatti, 2015. URL:<http://www.sseu.ru/wp-content/uploads/2015/04/Dissertatsiya-Danilovoy-S.YU..pdf>
9. Cherepovitsyn A. E. The strategy of development of the industry of construction materials (on the example of the industry of construction materials of the Leningrad region)//a yew. on step. PhD Econ., St. Petersburg, 2000.
10. Dudina E.V., Nevrova O.N. Transport logistics: decrease in costs of transportation of freights//*Messenger of ORELGIET*. 2011. No. 2 (16). P. 12–16.
11. Interpretation of the terms Incoterms. Custom Cargo Clearanceofficialwebsite. URL: <http://cc-customs.ru/poleznaja-informacija/30-inkoterms-udobnaya-tablitsa>
12. Cherepovitsyn A.E. Possibilities of a mineral and raw complex of the Leningrad region and his role in formation of clusters of competitiveness of the region//*Modern aspects of economy*. 2004. No. 4 (55).
13. Blam Yu.Sh., Mashkina L.V. of model and methods of the applied analysis (production systems): an educational and methodical complex to a course//NSU, Novosibirsk, 2008. URL: <http://econom.nsc.ru/efnsu/Mimpa2.htm>.
14. Nikiforov V.V. Logistics. Transport and a warehouse in a chain of deliveries. – М.: Grossmedia, 2008, 192 pages of URL: http://www.e-reading.club/bookreader.php/89646/Nikiforov_-_Logistika._Transport_i_sklad_v_cep_i_postavok.html
15. Simakov E.E., Kim E. The solution of transport tasks with application of programming in the MathCAD system//*the Young scientist*. 2014. No. 5. P. 8–13.
16. Bellman R., Dreyfus Page. Applied problems of dynamic programming. – М.: Science, 1965. – 460 pages.
17. Garab I.V the Comparative analysis of methods of the solution of a task of the direct-sales representative for the choice of a route of laying of a cable of network of ring architecture // *the Youth scientific and technical bulletin* 2013 No. 11.
18. Flowers P.S. Problems of assessment of economic stability of the mining enterprises//*News Sankt-of the St. Petersburg state economic university*. 2014. No. 5 (89). P. 132–136.
19. Shvetsov V.I. Mathematical modeling of transport streams//*Automatic equipment and Telemechanics*. 2003. No. 11. P. 3-46.