

# Экспертная оценка соотношения затрат при строительстве нефтяной транспортной инфраструктуры в Арктике

Тутыгин А. Г.<sup>1, \*</sup>, Коробов В. Б.<sup>1, 2</sup>, Губайдуллин М. Г.<sup>1, 3</sup>, Чижова Л. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова РАН, Архангельск, Российская Федерация; andgt64@yandex.ru

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup>Северный арктический федеральный университет им. М. В. Ломоносова, Архангельск, Российская Федерация

## РЕФЕРАТ

При оценках затрат на строительство и эксплуатацию объектов транспортной инфраструктуры на ранних стадиях инвестиционного процесса возникает проблема в формализации некоторых показателей факторов, влияющих на принятие решений. Временная невозможность выразить их в денежных или сопоставимых натуральных величинах приводит к возникновению неопределенности в соотношении между этими двумя группами факторов. На примере одного из объектов нефтяной транспортной инфраструктуры на территории АЗ РФ получены количественные оценки таких неопределенностей, величина которых оказалась весьма весомой и переменной в зависимости от рассматриваемой альтернативы. Авторами предложен подход, основанный на векторном представлении факторов, теории нечетких множеств и экспертных оценках, позволяющий выработать критерий предельной величины неопределенности, позволяющий принимать управленческие решения в задачах выбора. Построена соответствующая модель, дающая возможность вычисления такого критерия.

*Ключевые слова:* Арктическая зона Российской Федерации, транспортная инфраструктура, задача выбора, управленческое решение, модель, природно-экологические факторы, экономические факторы

## Expert Assessment of a Ratio of Expenses at Construction of Oil Transport Infrastructure in the Arctic

Andrey G. Tutygin<sup>a, \*</sup>, Vladimir B. Korobov<sup>a, b</sup>, Marcel H. Gubaidullin<sup>a, c</sup>, Lyudmila A. Chizhova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Federal Center for Integrated Arctic Research named after Academician N. P. Laverov of Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russian Federation; andgt64@yandex.ru

<sup>b</sup>Institute of Oceanology named after P. P. Shirshov of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>c</sup>Northern Arctic Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russian Federation

## ABSTRACT

When assessing the cost of construction and operation of transport infrastructure in the early stages of the investment process, there is a problem in the formalization of some indicators of the factors influencing decision-making. The temporary impossibility to express them in monetary or comparable natural quantities leads to uncertainty in the ratio between these two groups of factors. On the example of one of the discussed objects of oil transport infrastructure in the territory of the Russian Arctic, quantitative estimates of such uncertainties are obtained, the value of which was very weighty and variable depending on the considered alternative. The authors propose an approach based on the vector representation of factors, fuzzy set theory and expert estimates, which allows developing a criterion of the limit value of uncertainty, allowing making management decisions in the problems of choice. The corresponding model giving the possibility of calculation of such criterion is constructed.

*Keywords:* Arctic zone of the Russian Federation, transport infrastructure, selection problem, management decision, model, natural and environmental factors, economic factors

Затраты на строительство нефтяной транспортной — резервуарных парков, магистральных трубопроводов, отгрузочных терминалов и сопутствующих объектов, измеряются десятками и даже сотнями миллиардов рублей. Особенно дорогостоящими являются такие проекты в Арктике, где на их стоимость существенное влияние оказывают природные условия и экологическая ситуация.

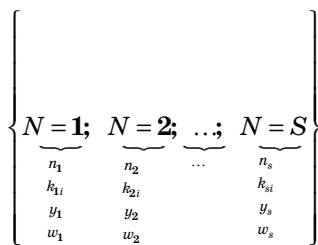
Практика показала, как и для других инфраструктурных проектов, что затраты можно существенно снизить, если предварительно рассмотреть несколько альтернатив, чтобы выбрать наиболее экономически эффективный и экологически целесообразный вариант. Одним из подходов к решению этой задачи является математическое моделирование. Однако, как показано в [1], для такого рода задач существует ряд методологических трудностей. Они заключаются в необходимости интегрирования большого количества уравнений, многочисленности входных данных, сложных природных условиях, которые далеко не просто формализовать традиционно используемой системой показателей. Эти трудности обусловлены тем обстоятельством, что такого рода открытые системы в принципе не имеют точного решения, и все попытки их описания в лучшем случае можно рассматривать как технические аппроксимации.

Выход из ситуации может быть найден посредством включения в базовую модель экспертных технологий, которые позволяют преодолеть ряд трудностей за счет экспертных оценок сложно формализуемых составляющих модели. В таких моделях все группы факторов могут быть исчерпывающе представлены векторами показателей и весовых коэффициентов, получаемых путем опросов экспертов. При этом число самих факторов не ограничено, поскольку не влияет на вычисления конечных интегральных показателей, что является, как отмечено выше, существенным ограничением на дифференциальные и аналогичные им модели.

Построим общую модель системы следующим образом. В пространстве факторов  $R^{n_1} \times R^{n_2} \times \dots \times R^{n_s}$  введем вектор-факторы  $F_j = (f_{j1}, f_{j2}, \dots, f_{j n_j}) \in R^{n_j}$ . В первой свертке  $\Phi: R^{n_1} \times R^{n_2} \times \dots \times R^{n_s} \rightarrow \mathbb{R}_+^S$ , где  $\Phi_j: F_j \rightarrow \sum_{i=1}^{n_j} k_{ji} f_{ji} = y_j$ , а коэффициенты  $k_{pi}$  определяются внутри каждой группы, описываемой соответствующим вектор-фактором,  $p = \overline{1, s}$ . При этом  $\sum_{i=1}^n k_{1i} = 1, \sum_{i=1}^m k_{2i} = 1, \dots, \sum_{i=1}^l k_{si} = 1$ .

Отображение  $\Psi: \mathbb{R}_+^s \rightarrow \mathbb{R}_+$  задает вторую свёртку:

$$(y_1, y_2, \dots, y_s) \rightarrow \sum_{j=1}^s w_j y_j, \quad \sum_{j=1}^s w_j = 1.$$



$$Y = \sum_{j=1}^s w_j y_j$$

Этот случай был «идеальным» в том смысле, что все вектор-факторы полностью и однозначно определены. Однако в реальной жизни далеко не всегда показатели вектор-факторов известны, или известны с необходимой точностью. Кроме того, могут быть и скрытые факторы, выявление которых мы сейчас рассматривать не будем, чтобы чрезмерно не усложнять задачу.

Рассмотрим случай с наличием «неопределенных» факторов (скрытые факторы отнесём к этой категории). Переформатируем строку, содержащую  $\sum_{j=1}^s n_j$  компонент, из  $R^{n_1} \times R^{n_2} \times \dots \times R^{n_s}$  в вектор размерности  $q + 1$  следующим образом. Соберем все «определенные» значения в первые  $q$  позиций, а последнюю координату зарезервируем под «неопределенность»:

$$\left( \underbrace{z_1, z_2, \dots, z_q}_{\text{зона определенности}}, \underbrace{z_0}_{\text{зона неопределенности}} \right),$$

где  $z_1, z_2, \dots, z_q$  — числа из  $\mathbb{R}_+$ ;  $z_0$  — нечеткое число (по Л. Заде [2]).

Введем весовые коэффициенты  $v_1$  и  $v_0$ , где  $v_1$  — доля «определенности» и  $v_0$  — доля «неопределенности»,  $v_1 + v_0 = 1$ ;  $v_1, v_0 \geq 0$ . Тогда  $Z = \sum_{j=1}^q z_j x_j$ , где:  $x_j$  — весовые коэффициенты в зоне «определенности»  $\sum_{j=1}^q x_j = 1, x_j > 0$ . Итоговый показатель имеет вид  $Q = v_1 Z + v_0 z_0$ , в котором составляющая  $v_0 z_0$  — нечеткое число.

Пусть  $\mu$  — функция принадлежности нечеткого множества, при этом  $z_0 = \mu(\beta)$ , где  $\beta \in (\gamma, \delta)$ . Тогда оценку  $Q = v_1 Z + v_0 \mu(\beta)$  можно заменить на  $Q' = v_1 Z + v_0 \varepsilon$ , где  $v_1 Z$  — число, а  $\varepsilon$  — некоторая численная оценка для соответствующего нечеткого множества  $A$ . Следуя подходу, предложенному в [3], в качестве такой оценки может быть выбрано, например, среднее значение нечёткого множества  $A$ , которое

рассчитывается как  $\varepsilon(A) = \frac{\sum_{i=1}^N a_i \mu(a_i)}{\sum_{i=1}^N \mu(a_i)}$ , где  $a_i$  — произвольное нечеткое множество,

в данном случае — это интервал, определяемый экспертным путем.

Для реализации модели нужно оценить соразмерность главной части  $v_1 Z$  и  $\varepsilon$ . Покажем, как это можно сделать на конкретной задаче. В качестве примера возьмем проблему выбора альтернативы строительства нефтегазовой транспортной инфраструктуры для доставки углеводородов из Коротайхинской впадины до отгрузочного терминала. Отметим, что проблема несбалансированности показателей характерна также и для других экономических проблем в АЗ РФ [4].

На северо-востоке Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции в пределах Коротайхинской впадины имеется существенный резерв наращивания разведанной сырьевой базы углеводородов [5]. Он связан с вовлечением в освоение невосстребованных перспективных нефтегазовых объектов зонального и локального уровня. Схема возможных альтернативных вариантов вывоза углеводородных ресурсов из Коротайхинской впадины приведена на рис. Южное направление (вар. 1) в сторону Усинска и северное направление до Варандейского терминала (вар. 2) предполагают трубопроводный транспорт нефти. Вар. 3 до Индиги следует рассматривать главным образом для вывоза природного газа.

Решить в первом приближении проблему выбора наиболее перспективной альтернативы можно посредством ранжирования факторов с учетом их весовых коэффициентов [6]. В этой задаче факторы разбиты на группы, часть из которых

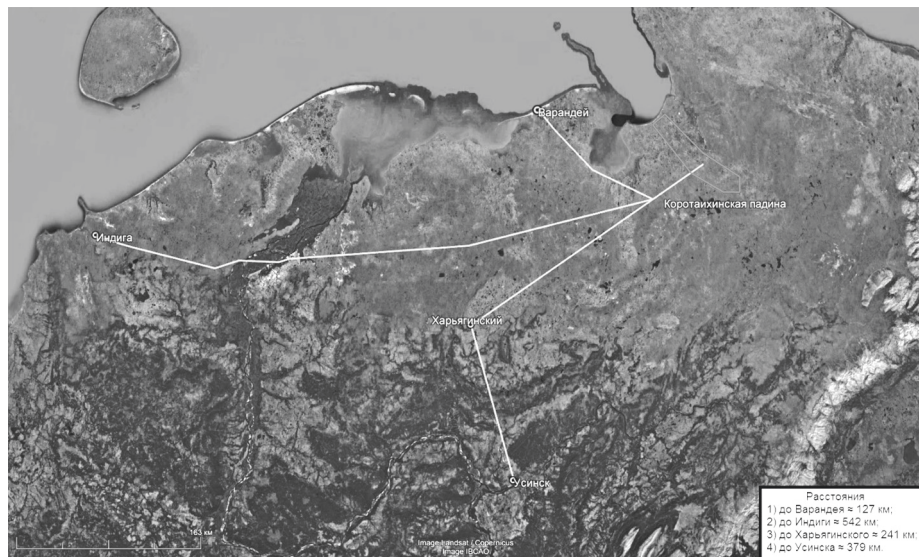


Рис. Схема альтернатив транспортировки нефтяных углеводородов из Коротайхинской впадины

Fig. The scheme of alternatives of transportation of oil hydrocarbons from the Korotaykha foredeep

можно оценить достаточно точно — экономические факторы. Другая часть — природно-экологические, точному расчету поддается с трудом.

В качестве интегрального показателя альтернативы выбраны ранговые оценки факторов с учетом их значимости. Расчеты проводятся по формуле  $R = \sum_{i,j=1}^N k_i r_{ij}$ ,

где  $R$  — суммарная оценка ранга альтернативы;  $r_{ij}$  — ранг  $i$ -го фактора  $j$ -й альтернативы;  $k_i$  — весовые коэффициенты факторов. Обоснование факторов и расчет их весовых коэффициентов методом анализа иерархий выполнен в работах [7, 8, 9]. Ранжирование факторов по каждой альтернативе выполнено экспертным путем по принципу: чем хуже условия, тем выше ранг. При равенстве оценок в соответствии с рекомендацией Д. Химмельблау [10] ранги усреднялись. Исходные данные и результаты расчетов приведены в табл. 1.

Наилучшие показатели у первого варианта, наихудшие у второго, третий вариант занимает промежуточное значение.

Полученные результаты позволяют нам в первом приближении оценить соотношения между «нечеткими» составляющими — природно-экологическими факторами и «числовыми» — экономическими факторами. Для этого по вышеприведенной формуле оценки рангов необходимо рассчитать частные суммы рангов для природно-экологических и экономических факторов по каждой альтернативе и разделить их (табл. 2).

Как видим, величина этих соотношений достаточно значима и ее нельзя свести к погрешности метода оценки. При таких величинах вклада нечетко определяемых факторов у лиц, принимающих решения, возникает неуверенность при выборе варианта. Она основана на неуверенности в достаточности исходной информации: на последующих стадиях инвестиционного процесса приведение показателей к сопоставимым величинам может кардинально изменить ситуацию.

**Ранговое ранжирование альтернатив (принцип ранжирования — чем хуже условия, тем выше ранг)**

Table 1. Rank ranging of alternatives (the principle of ranging — than worse conditions, the rank is higher)

Факторы	ВК	Альтернативы		
		1	2	3
Экологические	9,5			
Особо охраняемые природные территории	3,88	1	2	3
Водоохранные зоны водотоков и водоемов	2,21	2	1	3
Зоны повышенной биопродуктивности	2,18	3	1.5	1.5
Степень загрязненности природной среды	1,02	1	2	3
Климатические	5.4	—	—	—
Ветровой режим	0,89	1	3	2
Температурный режим	1,14	1	3	2
Режим осадков	0,99	1	3	2
Опасные гидрометеорологические явления	2,26	1	3	2
Гидрологические	9,0			
Заболоченность территории	3,48	1	3	2
Переходы через водотоки и водоемы	2,70	2	1	3
Уровеньный режим	1,10	1	3	2
Ледовый режим	1,52	2	3	1
Физико-географические и геологические	10,6			
Рельеф	2,28	3	1	2
Почвенные условия и грунты	1,50	1	3	2
Ресурсный потенциал	3,97	3	2	1
Криогенные процессы	2,83	1	3	2
Экзогенные процессы	2,68	1	3	2
Сейсмичность	2,30	2,5	1	2,5
Капитальные затраты	17,9			
Стоимость оборудования	6,57	1	3	2
Стоимость строительно-монтажных работ и услуг	5,81	1	3	2
Пошлины на импортное оборудование	2,91	1	3	2
Стоимость кредитных ресурсов	3,82	2.5	2.5	1
Получение доступа к источникам сырья	2,73	1	3	2
Текущие затраты	17,9			
Тарифы на электроэнергию для транспортировки	2,84	1	3	2
Стоимость фрахта	5,34	1	3	2
Стоимость услуг магистрального трубопровода	5,51	1	3	2
Размер акцизов, таможенных пошлин и НДС	3,79	1	2.5	2.5
Доходы	29,7			
Цена на нефть	13,46	2	2	2

Факторы	ВК	Альтернативы		
		1	2	3
Налоги, сборы во внебюджетные фонды	3,29	1	2	3
Валютный курс	4,98	1	3	2
Средний ранг		145.91	248.265	205.705
Результат		1	3	2

Таблица 2

**Соотношения между природно-экологическими  
и экономическими факторами альтернатив**

Table 2. Ratios between natural, ecological, and economic factors of alternatives

Факторы	Альтернатива (вариант)		
	1	2	3
Природно-экологические	65,67	85,67	82,24
Экономические	80,24	162,595	123,465
Соотношение, %	81,8	52,7	66,6

Эта проблема — наличие неопределенности между двумя потоками информации, в последнее время приобретает всеобщий характер [11]. Связано это с отставанием теории в разработке соответствующих показателей влияющих факторов применительно к решаемым прикладным задачам, число которых стремительно увеличивается. А поскольку точного решения такого рода задач не существует в принципе, поиск приемлемого решения — числового значения критерия, может быть получен только экспертным путем — опросом лиц, принимающих решения. Эта проблема вполне решается. Один из путей указан в настоящей статье, если представить экспертные оценки как нечеткие числа, что требует специальных исследований, выходящих за рамки настоящей публикации и планируется авторами в ближайшем будущем.

По итогам проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Предложенный подход позволяет свести все многообразие показателей, используемых при моделировании сложных систем, к конечному числу вектор-факторов. При этом возникают неопределенности, которые, по крайней мере, можно с наперед заданной точностью оценить сверху.
2. В рассмотренной задаче экономические факторы преобладают над природно-экологическими, причем это превосходство весьма заметное.
3. Соотношения между обычными числовыми оценками и нечеткой составляющей не являются постоянными и весьма различаются у разных альтернатив.

Работа выполнена в рамках темы НИР «Разработка модели организации управления трансконтинентальными перевозками по высокоширотной трассе Северного морского пути». № гос. регистрации АААА-А17-117033010116-2

## Литература

1. Антипов Е. О., Тutyгин А. Г., Коробов В. Б. Проблемы осуществления транспортировки грузов в Арктической зоне Российской Федерации морским путем // Управленческое консультирование. 2017. № 11. С. 72–79.
2. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. М. : Мир, 1976.

3. Орлов А. И. Организационно-экономическое моделирование. Ч. 1. Нечисловая статистика. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009.
4. Павленко В. И., Меламед И. И., Куценко С. Ю., Тутыгин А. Г., Авдеев М. А., Чижова Л. А. Основные принципы сбалансированного социально-экономического развития территорий Арктической зоны Российской Федерации // *Власть*. 2017. № 6. С. 7–17.
5. Сарычев В. В., Цыбин В. Ф., Губайдуллин М. Г. Нефтегазоперспективные комплексы Коротаихинской впадины Тимано-Печорской впадины / Сб. статей по материалам юбилейной конф., посв. 100-летию ПГУ «Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь : ПГНИУ, 2016. С. 112–116.
6. Коробов В. Б. Эколого-географическое обоснование экспертной оценки создания нефтяной транспортной инфраструктуры севера Тимано-Печорской провинции : дис. ... д-ра геогр. наук. М. : ИГ РАН, 2004.
7. Губайдуллин М. Г., Коробов В. Б., Сарычев В. В. Анализ значимости факторов, влияющих на развитие нефтяной транспортной инфраструктуры в северо-восточной части европейского севера России // *Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов*. 2017. Вып. 4 (110). С. 138–145.
8. Губайдуллин М. Г., Коробов В. Б., Сарычев В. В. Факторы транспорта нефти // *Деловой журнал Neftegaz.ru*. 2017. № 3. С. 87–91.
9. Юдахин Ф. Н., Губайдуллин М. Г., Коробов В. Б. Экологические проблемы освоения нефтяных месторождений севера Тимано-Печорской провинции. Екатеринбург : УрО РАН, 2002.
10. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. М. : Мир, 1973.
11. Джордан Д. Роботы / Джон Джордан: пер. с англ. М. : Издательская группа «Точка», 2017.

#### Об авторах:

**Тутыгин Андрей Геннадьевич**, заведующий лабораторией моделирования социально-экономических систем ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова РАН» (Архангельск, Российская Федерация); кандидат физико-математических наук, доцент; andgt64@yandex.ru

**Коробов Владимир Борисович**, главный научный сотрудник лаборатории моделирования социально-экономических систем ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова РАН» (Архангельск, Российская Федерация); директор Северо-Западного отделения Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН (Москва, Российская Федерация); доктор географических наук; korobov@atknnet.ru

**Губайдуллин Марсель Галиулович**, главный научный сотрудник лаборатории моделирования социально-экономических систем ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова РАН» (Архангельск, Российская Федерация); заведующий кафедрой транспорта, хранения нефти, газа и нефтегазопромыслового оборудования Северного арктического федерального университета им. М. В. Ломоносова (Архангельск, Российская Федерация); доктор геолого-минералогических наук, профессор; m.gubaidulin@narfu.ru

**Чижова Людмила Александровна**, старший научный сотрудник лаборатории моделирования социально-экономических систем ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова РАН» (Архангельск, Российская Федерация); кандидат экономических наук, доцент; chijova.mila@yandex.ru

#### References

1. Antipov E. O., Tutygin A. G., Korobov V. B. Problems of Implementation of Freights Transportation in the Arctic Zone of the Russian Federation by Sea // *Administrative consulting [Upravlencheskoe konsul'tirovanie]*. 2017. N 11. P. 72–79. (In rus)
2. Zade L. Concept of a linguistic variable and its application to adoption of approximate decisions. M. : World, 1976. 167 p. (In rus)
3. Orlov A. I. Organizational and economic modeling. Part 1. Non-numerical statistics. M. : BMSTU publishing house, 2009. 541 p. (In rus)
4. Pavlenko V. I., Melamed I. I., Kutsenko S. Yu., Tutygin A. G., Avdeev M. A., Chizhova L. A. Basic principles of the balanced social and economic development of territories of the Arctic zone of the Russian Federation // *Power [Vlast']*. 2017. N 6. P. 7–17. (In rus)

5. Sarychev V.V., Tsybin V.F., Gubaidulin M.G. Oil and gas potential complexes of the Korotaikha foredeep of the Timan-Pechora foredeep / Collection of articles of the 100th anniversary of the PSU. "Geology and minerals of the Western Urals". Perm : PSSRU, 2016. P. 112–116. (In rus)
6. Korobov V.B. Ecological and geography justification of expert assessment of creation of oil transport infrastructure of the North of the Timan-Pechora province : Doctoral dissertation. M. : IG RAS, 2004. 422 p. (In rus)
7. Gubaidulin M.G., Korobov V.B., Sarychev V.V. The analysis of the importance of the factors influencing development of oil transport infrastructure in a northeast part of the European North of Russia // Problems of collecting, preparation and transport of oil and oil products [Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov]. 2017. Issue 4 (110). P. 138–145. (In rus)
8. Gubaidulin M.G., Korobov V.B., Sarychev V.V. Oil transport factors // Business journal Neftegaz.ru [Delovoi zhurnal Neftegaz.ru]. 2017. N 3. P. 87–91. (In rus)
9. Yudakhin F.N., Gubaidulin M.G., Korobov V.B. Environmental problems of development of oil fields of the North of the Timan-Pechora province. Yekaterinburg : UB RAS, 2002. 314 p. (In rus)
10. Himmelblau D. Analysis of processes by statistical methods. M. : World, 1973. 957 p. (In rus)
11. Jordan J. Robots / John Jordan: translation from English M. : Publishing group Point , 2017. 272 p. (In rus)

**About the authors:**

**Andrey G. Tutygin**, Head of the Laboratory of Modeling socio-economic systems, Federal Center for Integrated Arctic Research named after academician N.P. Laverov Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russian Federation); PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor; andgt64@yandex.ru

**Vladimir B. Korobov**, Chief Research Worker of the Laboratory of Modeling Socio-Economic Systems, Federal centre for integrated Arctic research named after academician N.P. Laverov Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russian Federation); Director of the Northwest branch, Institute of Oceanology named after P.P. Shirshov Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation); Doctor of Science (Geography); korobov@atknnet.ru

**Marcel H. Gubaidullin**, Main researcher of the Laboratory of Modeling socio-economic systems, Federal centre for integrated Arctic research named after academician N.P. Laverov Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russian Federation); head of the Department of transport, storage of oil, gas and oilfield equipment, Northern Arctic Federal University named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russian Federation); Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor; m.gubaidulin@narfu.ru

**Lyudmila A. Chizhova**, Senior Scientific Worker of the Laboratory of Modeling socio-economic systems, Federal centre for integrated Arctic research named after academician N.P. Laverov Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russian Federation); PhD in Economics, Associate Professor; chijova.mila@yandex.ru