

ISSN 2220-802X

0+

СЕВЕР И РЫНОК

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОРЯДКА

ТОМ 29 • № 2 • 2026



Научная статья

УДК 502.2

doi:10.37614/2220-802X.2.2026.92.011

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОРЯДКОВЫХ ВЕЛИЧИН В РАСЧЕТАХ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОЦЕНОК ДЛЯ ОБЪЕКТОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Анатолий Александрович Шавыкин¹, Андрей Николаевич Карнатов²^{1, 2}Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, Мурманск, Россия¹anatoli.shavykin@mail.ru, ORCID 0000-0003-0538-8115²karnatov@mmbi.info, ORCID 0000-0003-1853-3270

Аннотация. При экологических и экономических исследованиях часто из-за недостатка исходных данных используются величины, оцениваемые на порядковых шкалах. Однако, как следует из теории измерений, арифметические действия с порядковыми величинами недопустимы, и использование их в расчетах может приводить к некорректным выводам. Цель работы — изложить основные требования к учету типа шкалы измерения при использовании в расчетах величин на различных шкалах; показать на примерах недопустимость использования порядковых величин в арифметических расчетах; обосновать некорректность ряда эколого-экономических оценок для Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), когда в расчетах использовались порядковые величины; обратить внимание специалистов на необходимость учитывать в расчетах тип используемой шкалы. Для обоснования получаемых выводов нами в расчетах использовалось монотонно возрастающее преобразование исходных данных, допустимое на порядковых шкалах. Показано, что во многих работах по эколого-экономическим оценкам используются арифметические расчеты с порядковыми величинами, что приводит к необоснованным выводам и некорректным результатам. При расчетах следует исходить из того, что не существует алгебраических операций между порядковыми величинами. **Ключевые слова:** теория измерений, порядковая величина, шкала отношений, допустимые преобразования, арифметические действия

Благодарности: работа выполнена по государственному заданию по теме «Структурно-динамические трансформации пелагических экосистем морских арктических бассейнов в условиях техногенных и естественных изменений среды», № госрегистрации 124013000709-9, № в ГЗ FMEE-2024-0016.

Для цитирования: Шавыкин А. А., Карнатов А. Н. Использование порядковых величин в расчетах эколого-экономических оценок для объектов Арктической зоны России // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2026. № 2. С. 153–166. doi:10.37614/2220-802X.2.2026.92.011.

Original article

THE USE OF ORDINAL DATA IN ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASSESSMENTS: APPLICATIONS IN THE RUSSIAN ARCTIC

Anatoly A. Shavykin¹, Andrey N. Karnatov²^{1, 2}Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia¹anatoli.shavykin@mail.ru, ORCID 0000-0003-0538-8115²karnatov@mmbi.info, ORCID 0000-0003-1853-3270

Abstract. Environmental and economic assessments often rely on variables measured on ordinal scales, particularly when primary data are limited. However, according to measurement theory, arithmetic operations on ordinal data are not valid, and the use of ordinal indicators may lead to unjustified conclusions. This paper aims to outline the fundamental requirements for properly accounting for the type of measurement scale when working with data, including ordinal-scale variables; demonstrate the limitations of using ordinal data in arithmetic operations; substantiate the flaws in a number of environmental and economic assessments regarding the Russian Arctic where ordinal indicators were used; and draw attention to the necessity of considering measurement scale properties in calculations. To validate our findings, we used monotonic increasing transformations of the initial data acceptable on ordinal scales. The analysis shows that several reviewed studies are based on arithmetic calculations with ordinal values, which leads to methodologically unsupported and potentially misleading results. The study demonstrates that ordinal data must not be subjected to algebraic operations.

Keywords: measurement theory, ordinal data, ratio scale, permissible transformations, arithmetic operations

Acknowledgments: The study was conducted as part of a state-funded research project titled “Structural and Dynamic Transformations of Pelagic Ecosystems of Arctic Marine Basins under Technogenic and Natural Environmental Changes”, Registration No. 124013000709-9, Assignment FMEE-2024-0016.

For citation: Shavykin A. A., Karnatov A. N. The use of ordinal data in environmental and economic assessments: Applications in the Russian Arctic. *Sever i rynek: formirovanie ekonomicheskogo poryadka* [The North and the Market: Forming the Economic Order], 2026, no. 2, pp. 153–166. doi:10.37614/2220-802X.2.2026.92.011

Введение

При различных экономических, экологических и других исследованиях и расчетах часто используются порядковые величины. Это связано в том числе с недостатком исходных данных, использованием данных с различными единицами измерения и другими причинами. Далее с такими величинами, оцененными на порядковых шкалах, выполняют те или иные действия, в том числе арифметические расчеты [1–4].

Однако допустимы ли такие действия? Так, в работе [5] говорится, что в порядковой шкале числа используются только для различения объектов и установления порядка между ними, однако сказать, во сколько раз или на сколько интенсивность изучаемой характеристики одного объекта больше или меньше, чем у другого, нельзя. Поэтому и делать привычные арифметические операции с такими числами недопустимо. Ключевыми для понимания того, что есть порядковые величины, служат положения Международного словаря по метрологии [6]. «Порядковая величина — величина, определенная в соответствии с принятой по соглашению методикой измерений, для которой может быть установлено, в соответствии с ее размером, общее порядковое соотношение с другими величинами того же рода, но для которой не существует алгебраических операций между этими величинами» [6, статья 1.26]. «Порядковые величины могут входить только в эмпирические соотношения и не имеют ни единиц измерения, ни размерностей величин. Разности и отношения порядковых величин не имеют физического смысла» [6, статья 1.26, примечание 1].

«В этих шкалах также нельзя ввести единицы измерений из-за того, что они принципиально нелинейны: логически невозможно установить равенство интервалов на различных участках шкалы. Результаты измерений в таких шкалах выражают в числах, баллах, степенях, уровнях, а не в единицах измерений. Хотя результаты измерений в таких шкалах часто обозначают непрерывными множествами действительных арифметических чисел, невозможно подразумевать пропорциональность этих значений (логически невозможно определить, во сколько раз одна реализация свойства больше или меньше другой). Результаты измерений в баллах, степенях, уровнях выражают

дискретными рядами натуральных чисел. Шкалы порядка допускают монотонные преобразования, в них может присутствовать или отсутствовать нуль шкалы» [7, приложение А] (здесь и далее подчеркнуто нами. — А. Ш., А. К.).

Основы теории измерений в части использования порядковых величин приведены в публикациях [8–13]. Краткий обзор по проблеме использования различных шкал измерений и использованию порядковых величин при расчетах был нами опубликован в ряде работ [1, приложение Г; 14; 15]. В них рассмотрены различные экологические расчеты, выполненные с использованием порядковых величин: расчеты карт уязвимости прибрежно-морских зон от нефти, карт уязвимости морских птиц от нефти и ветроэлектростанций в шельфовых районах. В этих статьях приведен и более подробный перечень литературы по теории измерений на разных шкалах. Ранее мы сами при расчетах уязвимости Баренцева моря от нефти для оценок плотности распределения групп биоты и их коэффициентов уязвимости также использовали порядковые величины [16]. Обзор российских и зарубежных работ по уязвимости морей от различных воздействий, когда в основу расчетов положены порядковые величины, приведен в [1, глава 11]. В ряде зарубежных работ по воздействию ветроэлектростанций на птиц также использовались порядковые величины [17; 18].

В настоящей статье приведены краткие положения теории измерений в части использования различных типов шкал при расчетах, отдельные ссылки на публикации по теории измерений по этим вопросам. Представлен анализ нескольких публикаций по экологическим и экономическим оценкам для территорий и объектов Арктической зоны Российской Федерации в российских рецензируемых научных журналах, когда при расчетах используются порядковые величины.

Цель работы — кратко изложить основные требования по учету типа шкалы измерения при использовании в расчетах величин, заданных на различных шкалах, в первую очередь на порядковой шкале; показать недопустимость использования порядковых величин в арифметических расчетах; обосновать некорректность экономических и экологических оценок для территорий и объектов Арктической зоны Российской Федерации, когда в расчетах использованы порядковые величины.

Методы

Для обоснования получаемых выводов учитывались основные положения теории измерений, принятые международным научным сообществом. При анализе выводов, сформулированных авторами рассматриваемых статей, мы использовали допустимое на порядковых шкалах монотонное преобразование исходных данных: исходные данные переводились в новые умножением на то или иное действительное число. Исходные баллы в анализируемых статьях — это значения на порядковой шкале. При этом следует иметь в виду, что в данном случае баллы — это метки, отражающие, какое значение параметра больше, какое меньше, но нет обоснования, на сколько или во сколько одно такое значение больше другого. Соответственно, переход от принятых исходных целочисленных значений (натуральных чисел) к дробным не меняет порядок между значениями, меняется только само «значение» метки (балла).

Основные положения теории измерений в отношении различных шкал измерения

В настоящей статье рассмотрены: расчет оптимального варианта действий для вывоза нефти с месторождения в Печорском море [2], оценка жизнестойкости городов АЗРФ [3], районирование материковой части АЗРФ [4]. Это в определенной степени построение математической модели реальности на основе результатов различных измерений (прямых измерений, оценок на основе наблюдений, экспертных оценок). Подобные оценки часто получают на различных шкалах, поэтому требуется учет типа шкалы [5].

В настоящее время шкалы, как правило, объединяют в три основные группы: *номинальные* — для качественных измерений; *порядковые* — для отражения отношения порядка (больше, лучше, важнее и т. п.); *количественные* — оперируют с числами на основе привычных арифметических действий (например, 10 в 2 раза больше, чем 5). Однако даже не со всеми величинами, представленными на количественных шкалах, можно проводить любые арифметические операции. Характерный пример — шкала интервалов времени (шкала разностей). Интервалы времени (например, периоды работы, периоды учебы) можно складывать и вычитать, но складывать даты каких-либо событий бессмысленно. Нельзя также утверждать, что тело с температурой 40 °С в два раза теплее (горячее), чем с температурой 20 °С. Для анализа подобного рода данных необходима не всем известная арифметика, а другая теория, дающая базу для разработки, изучения и применения конкретных методов расчета, — теория измерения (см. [5–7; 13–15]).

Одно из положений теории измерений — требование к алгоритмам обработки данных — формулируется следующим образом: **выводы, сделанные на основе данных, измеренных в шкале определенного типа, не должны изменяться при допустимых на этой шкале преобразованиях данных** [5]. Игнорирование данных положений приводит к частично неверным результатам и неопределенным итоговым выводам [14; 15].

При математическом моделировании реального явления или процесса следует прежде всего установить, в каких типах шкал измерены те или иные переменные. Тип шкалы задает группу допустимых преобразований шкалы, которые не меняют объективно существующих соотношений между объектами измерения [5]. В работе [14] на основе ряда основных публикаций по этому вопросу приведены краткая обзорная классификация основных типов шкал, их признаки и особенности, допустимые рассчитываемые величины на этих шкалах, что принято в настоящее время. Перечислим основные типы шкал [7] и их примеры.

Шкалы наименований (номинальная шкала) отражают качественные свойства. Их элементы характеризуются только соотношениями эквивалентности (равенства), отличия и сходства конкретных качественных проявлений свойств. На них допустимыми являются все взаимно однозначные преобразования. Здесь числа используются лишь как метки. В этой шкале измерены, например, номера телефонов, автомашин. Единственное, для чего годятся измерения в шкале наименований, — это различать объекты [5].

Шкалы порядка описывают свойства, для которых имеют смысл соотношения эквивалентности и порядка по возрастанию или убыванию количественного проявления свойства. В этих шкалах также нельзя ввести единицы измерений из-за того, что они принципиально нелинейные: логически невозможно установить равенство интервалов на различных участках шкалы. Результаты измерений в таких шкалах выражают в числах, баллах, степенях, уровнях, а не в единицах измерений. Хотя результаты измерений в таких шкалах часто обозначают непрерывными множествами действительных чисел, невозможно подразумевать пропорциональность этих значений (логически невозможно определить, во сколько раз одна реализация свойства больше или меньше другой). Один из отличительных признаков шкалы порядка — «*допустимость любых монотонных преобразований*¹», в этих шкалах может присутствовать или отсутствовать нуль шкалы [7, п/п 2.2.2, примечание]. В различных областях деятельности применяется много разных видов порядковых шкал (шкала Мооса

¹ Любое преобразование набора чисел, сохраняющее их порядок, называется монотонным преобразованием. Обычно преобразование

достигается применением некоторой функции $f(u(X))$, которая преобразует каждое число u в другое число $f(u)$.

критериев твердости минералов, шкала стадий гипертонической болезни по Мясникову, шкала групп инвалидности и т. д.).

Шкалы разностей (интервалов) отличаются от шкал порядка тем, что для описываемых ими свойств имеют смысл не только соотношения эквивалентности и порядка, но и равенства и суммирования интервалов (разностей) между различными количественными проявлениями свойств. К таким шкалам можно отнести практические шкалы температур с условным нулем (Цельсия, Фаренгейта). Шкалы разностей имеют условные (принятые по соглашению) единицы измерений и условные нули, основанные на каких-либо реперах. В этих шкалах допустимы линейные преобразования.

Шкалы отношений. К множеству количественных проявлений в этих шкалах отношений применимы соотношения эквивалентности и порядка, операции вычитания и умножения. Эти шкалы являются самыми совершенными измерительными шкалами, в них нет естественной единицы измерения, но существуют принятые по соглашению единицы и естественные нули. Это наиболее широко применяемая в науке количественная шкала. Допустимыми преобразованиями здесь являются подобные преобразования (изменяющие только масштаб) — линейные преобразования без свободного члена [5]: одна шкала может быть переведена в другую умножением на положительную константу (например, перевод километров в морские мили умножением на множитель 1,852).

Абсолютные шкалы обладают всеми признаками отношений, но дополнительно в них существует естественное однозначное определение единицы измерений. Только для абсолютной шкалы результаты измерений — числа в обычном смысле слова. Такие шкалы используют для измерений относительных величин (например, количества птиц в колонии и т. д.), здесь допустимым является только тождественное преобразование. Подробные примеры для каждого типа шкал приведены в [7, приложение А].

Таким образом, можно утверждать, что не со всеми данными даже в метрических (количественных) шкалах допустимо выполнять любые арифметические действия. Подчеркнем еще раз: для порядковых величин «не существует алгебраических операций между этими величинами» и «разности и отношения порядковых величин не имеют физического смысла».

Условные примеры арифметических расчетов со значениями на порядковой шкале в сравнении с расчетами с этими же значениями на шкале отношений

Приведем два условных примера, показывающих, что арифметические операции с порядковыми величинами дают некорректные и противоречивые результаты и ведут к ошибочным выводам. Далее подразумевается, что исходные данные, приведенные в табл. 1 и 2, — это значения на шкале отношений (далее — или на абсолютной шкале).

Таблица 1

Исходные данные для сравнения результатов суммирования значений величин на шкале отношений и суммирования соответствующих им порядковых величин

X	X_m	X_r
A	10	1
B	60	2
C	70	3

Y	Y_m	Y_r
K	1	1
L	30	2
M	200	3

Z	Z_m	Z_r
F	10	1
G	11	2
H	50	3

Примечание. $A, B, \dots G, H$ — условные обозначения значений исходных величин.

Пример 1. Использование операции сложения порядковых величин. Пусть даны три группы данных (табл. 1): исходные значения трех величин (X_m, Y_m, Z_m) на шкале отношений — величины с индексом m ; ранги тех же величин — с индексом r (X_r, Y_r, Z_r); для каждой величины своя шкала рангов.

Проведем сложение этих трех величин $X + Y + Z$: $A + K + F, A + K + G, \dots, C + M + H$. Результат сравнения полученных сумм представлен на рис. 1.

Видно, что одним и тем же значениям суммы рангов — суммы порядковых величин (вертикальная шкала) — отвечает от 1 до 6 значений сумм величин, заданных на шкале отношений (обведены на графике). Точки на этом графике должны образовывать одну

монотонно возрастающую линию, не обязательно прямую (чем больше сумма значений X_m, Y_m, Z_m , тем больше и сумма X_r, Y_r, Z_r), но мы имеем облако точек.

Таким образом, перейдя от значений величин на шкале отношений или значений на абсолютной шкале (или изначально считая, что ранговые, порядковые значения однозначно отражают неизвестные нам значения величин на шкале отношений) к рангам или баллам (на порядковой шкале), то есть меткам — какая величина больше, какая меньше — мы после арифметических операций сложения с последними получим картину, существенно искажающую реальность.

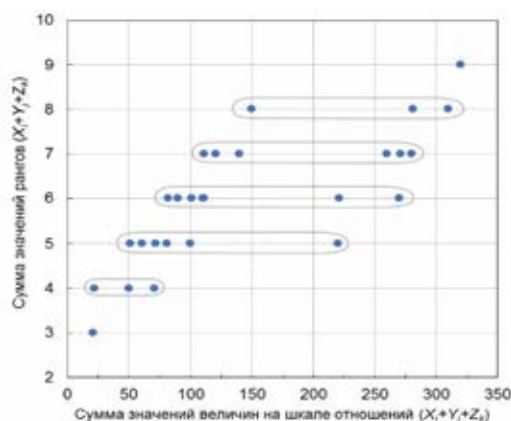


Рис. 1. Сравнение сумм значений на шкале отношений и сумм ранговых значений этих величин, приведенных в табл. 1

Пример 2. Использование операций умножения порядковых величин. Для наглядности недопустимости арифметических действий с порядковыми величинами можно привести еще один условный пример — перемножение двух массивов исходных данных,

заданных на шкале отношений, и соответствующих им значений на порядковой шкале (последние — метки, показывающие, какое значение больше, какое меньше). Исходные значения массивов представлены в табл. 2, сравнение результатов их перемножения — на рис. 2.

Таблица 2

Исходные данные для сравнения результатов перемножения величин X_m и Y_m на шкале отношений и соответствующих им порядковых величин X_r и Y_r [15]

X	X_m	X_r
A	10	1
B	60	2
C	70	3
D	150	4
E	300	5

Y	Y_m	Y_r
T	1000	5
U	800	4
V	100	3
W	30	2
Z	1	1

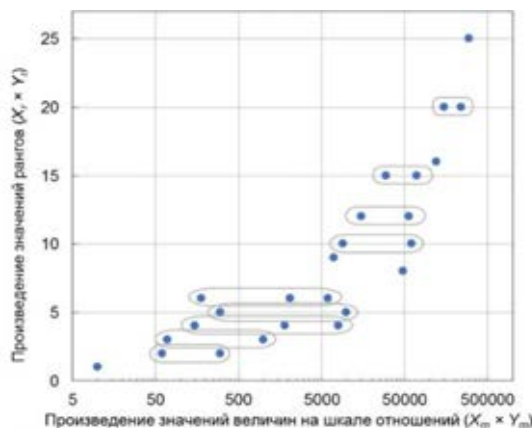


Рис. 2. Сравнение произведений значений двух множеств исходных данных (см. табл. 2), заданных на шкале отношений ($X_m \times Y_m$), и произведений соответствующих им порядковых значений — рангов ($X_r \times Y_r$)

И здесь с ростом произведений значений на шкале отношений $X_m \times Y_m$ значения произведений рангов $X_r \times Y_r$ возрастают не монотонно: вместо возрастающей кривой — облако точек. С учетом полученных результатов можно говорить, что и в данном случае многие значения произведений порядковых величин не будут корректно отражать произведения численных величин по шкале отношений даже с точки зрения порядка (что больше, что меньше). Таким образом, результаты операции перемножения порядковых величин (учитывая, что исследователь

не знает реальных численных значений на шкале отношений и использует вместо них порядковые, как экспертные оценки) также дают искаженную картину реальности, так как такие операции в порядковой шкале не определены.

Рассмотрим ряд публикаций по эколого-экономическим оценкам, в которых итоговые оценки и выводы сделаны на основе расчетов с использованием исходных данных, представленных на порядковой шкале.

Результаты анализа нескольких статей по эколого-экономическим оценкам

Анализ геоэкологических факторов, влияющих на выбор варианта вывоза нефти с Долгинского месторождения

В работе [2] представлен анализ вариантов маршрута вывоза нефти с Долгинского месторождения и обоснование выбора оптимального варианта с учетом влияющих на это факторов (экологических, экономических, природных и техногенных). Месторождение расположено в северо-восточной части Тимано-Печорского бассейна в Печорском море; удалено на 120 км к северу от материковой части России. Ближайшие крупные объекты — нефтяное месторождение Приразломное (55 км южнее месторождения Долгинского) и арх. Новая Земля (110 км севернее).

Долгинское месторождение играет ключевую роль в стратегии России по освоению арктических ресурсов, однако для безопасной и эффективной добычи нефти и газа в экстремальных условиях Арктики необходимы существенные инвестиции и передовые технологии. Кроме того, необходим

выбор оптимального маршрута транспортировки нефти. В этой статье рассмотрены три варианта транспортировки: 1) использование подводно-добычного комплекса (ПДК) и последующая транспортировка по подводному трубопроводу до морской ледовой платформы «Приразломная»; 2) транспортировка углеводородов с Долгинского месторождения до г. Мурманска с использованием плавучего нефтехранилища Floating Storage and Offloading на Долгинском месторождении в сочетании с ПДК; 3) транспортировка нефти по подводному трубопроводу до берегового резервуарного парка Варандейского нефтеотгрузочного терминала.

В таблице 3 (столбец «Расчет I») представлены ранжированные факторы, рассмотренные в анализируемой статье для трех вариантов транспортировки. Факторы ранжированы от 1 до 10 баллов с учетом степени влияния: 1–2 — очень низкое (имеет наименьшее значение); 3–4 — низкое (оказывает несильное влияние); 5–6 — среднее (оказывает сильное влияние); 7–8 — высокое (оказывает очень сильное влияние); 9–10 — очень высокое (основные факторы влияния).

Таблица 3

Результаты расчетов

	Исходные данные, приведенные в статье, и результат расчета: расчет I [2]			Исходные данные после их монотонного преобразования (см. табл. 4) и результаты расчета: расчет II		
	вар. 1	вар. 2	вар. 3	вар. 1	вар. 2	вар. 3
ПРИРОДНЫЕ						
Климатические и физико-географические условия	6	8	7	7,8	8,9	8,7
Особенности геологического строения	5	5	5	7,7	7,7	7,7
Гидрологические условия	8	9	8	8,9	9,1	8,9
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ						
Загрязнение окружающей среды	7	10	8	8,7	10,1	8,9
Зоны повышенной биопродуктивности	5	10	6	7,7	10,1	7,8
Разлив нефти	10	10	10	10,1	10,1	10,1
ТЕХНОГЕННЫЕ						
Коррозия	8		8	8,9		8,9
Разрушение материала и оборудования	6	7	6	7,8	8,7	7,8
Трубопроводы	7		8	8,7		8,9
Танкерный и вспомогательный флот	–	10	–	–	10,1	–
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ						
	8	10	9	8,9	10,1	9,1
СУММА БАЛЛОВ	70	79	75	85,2	84,9	86,8
РЕЙТИНГ ВАРИАНТА	min	max			min	max

Примечание. Расчет I — данные, приведенные в статье, и полученные там итоговые суммы баллов [2]; расчет II — данные для расчетов после их монотонно возрастающего преобразования (см. табл. 4) и результаты расчета по ним.

Таблица 4

Моноotonно возрастающее преобразование исходных данных

Исходные данные	Преобразование данных (возрастание)
5	7,7
6	7,8
7	8,7
8	8,9
9	9,1
10	10,1

Результаты расчетов по выбору оптимального варианта вывоза нефти — табл. 3 (расчет I). Для проверки корректности выводов мы использовали монотонно возрастающее преобразование данных согласно табл. 4. Минимальная результирующая сумма баллов будет соответствовать наиболее благоприятному варианту транспортной системы, максимальная — наихудшему.

Расчет I (исходный) [2]. Вариант 1: общая сумма баллов — 70. Наиболее значимыми являются экологические факторы, такие как загрязнение окружающей среды, разлив нефти. Природные и техногенные факторы также оказывают заметное влияние, но в меньшей степени.

Вариант 2: сумма баллов — 79. Это более высокий показатель из всех, что говорит о более сильном влиянии различных факторов. Особенно высокие баллы имеют экологические факторы, связанные с возможным загрязнением окружающей среды, зонами повышенной биопродуктивности и вероятностью разлива нефти. Техногенные факторы, такие как танкерный и вспомогательный флот, также оказывают существенное влияние.

Вариант 3: сумма баллов — 75. Это промежуточное значение между вариантами 1 и 2. Наиболее значимыми являются экологические факторы: загрязнение окружающей среды и разлив нефти. Природные и техногенные факторы оказывают умеренное влияние.

Авторы делают вывод, что второй вариант транспортировки подвержен наиболее сильному влиянию различных факторов, особенно экологических.

Как уже отмечалось выше, порядковые величины говорят только о том, что одна величина больше или меньше другой, но не ясно, во сколько раз или на сколько больше/меньше. Проверка первоначального расчета может быть сделана путем монотонного преобразования исходных данных; и выводы по первоначальному расчету справедливы, если после такого преобразования они не меняются. Однако после проведенного монотонно возрастающего преобразования мы имеем совсем другие результаты.

Расчет II (после преобразования данных согласно табл. 4). Наибольшая сумма баллов у варианта 3 (он был средним), наименьшая — у варианта 2 (до этого имеющего наибольшую сумму). Может быть высказано возражение, что после преобразования данных соотношение между ними существенно

изменилось. Однако в первоначальных расчетах использовалась обычная порядковая шкала, значения на которой говорят только о том, какая величина больше, какая меньше. Очевидно, изначально нельзя считать, что баллы (натуральные числа) в какой-то мере «отражают» численные соотношения между факторами (10 больше 5 в два раза, 8 меньше 10 на 2 балла и т. д.), так как указанные значения баллов никак не обоснованы. Результаты перерасчета с использованием монотонно возрастающего преобразования говорят о некорректности выводов, полученных в статье [2].

Таким образом, сделанный выбор наиболее оптимального варианта транспортировки, представленный в статье, не может считаться корректным и обоснованным. Требуется другой подход (другой метод) для его выбора, например, на основе метода анализа иерархий [13].

Оценка потенциала жизнестойкости городов Российской Арктики: фактор экономической специализации

Статья [3] посвящена оценке потенциала жизнестойкости городов Российской Арктики с точки зрения факторов экономической специализации. Анализ проводился для 28 городов с численностью населения более 5 000 человек, для которых доступны релевантные и сопоставимые данные Росстата. Расчет рейтинга жизнестойкости городов проводился по четырем параметрам: 1) структуре занятости (2019 г.) — степени ее диверсификации — на основе расчетного индекса Херфиндаля — Хиршмана; 2) уровню развития добывающей промышленности, основанному на балльной оценке представленности добывающей отрасли на прилегающей к городу территории по ряду косвенных признаков (в зависимости от доли территории, находящейся в границах лицензионных участков, и числа этих участков); 3) инновационному потенциалу (в процентах) — доле инновационных компаний в общем числе компаний, зарегистрированных в городе, по семи основным отраслям (2020 г.); 4) патентной активности — числу патентов на 10 тыс. человек (2020 г.). Значения факторов были переведены в баллы от 1 до 3 и линейно нормированы. Для первых двух показателей баллы были инвертированы, так как они характеризуются обратной связью с жизнестойкостью. Сводная балльная оценка (и сумма баллов) жизнестойкости городов Российской Арктики, приведенная в статье [3], представлена в табл. 5.

Таблица 5

Сводная балльная оценка жизнестойкости городов Российской Арктики

Населенный пункт	Исходные данные и результаты расчета [3]					Результаты пересчета	
	Диверсификация занятости	Добывающая промышленность	Инновационные компании	Патенты	Сумма баллов в статье [3]	Сумма баллов после преобразования 1	Сумма баллов после преобразования 2
Апатиты	3	2	3	3	11	12	18
Мурманск	3	2	3	3	11	12	18
Архангельск	2	2	3	3	10	12	16
Кировск	1	2	3	3	9	12	16
Надым	2	1	3	3	9	12	16
Нарьян-Мар	3	1	3	2	9	12	16
Салехард	2	2	3	2	9	12	13
Воркута	2	1	2	3	8	12	13
Заполярный	3	1	2	2	8	12	13
Лабытнанги	2	2	2	2	8	11	11
Мончегорск	2	3	1	2	8	12	13
Муравленко	3	1	2	2	8	12	13
Новый Уренгой	2	1	2	3	8	12	13
Ноябрьск	2	1	2	3	8	12	13
Северодвинск	1	2	2	3	8	12	13
Билибино	2	3	1	1	7	11	13
Губкинский	2	1	2	2	7	11	11
Кандалакша	2	2	1	2	7	11	11
Ковдор	1	2	3	1	7	11	13
Кола	2	2	2	1	7	11	11
Новодвинск	1	2	2	2	7	11	11
Норильск	2	1	1	3	7	11	13
Оленегорск	2	3	1	1	7	11	13
Онега	2	2	1	1	6	11	11
Полярные Зори	1	2	1	2	6	11	11
Ревда	1	3	1	1	6	11	13
Дудинка	2	1	1	1	5	11	11
Тарко-Сале	1	1	1	2	5	11	11

Если провести два различных монотонно возрастающих преобразования исходных данных, представленных в табл. 6, то результаты итогового

ранжирования городов могут существенно отличаться от исходного. Эти результаты также приведены в табл. 5.

Таблица 6

Преобразования, использованные для проверки сохранения выводов

Преобразование 1		Преобразование 2	
Исходные значения баллов	Баллы после преобразования	Исходные значения баллов	Баллы после преобразования
1	2,7	1	2,7
2	2,8	2	2,8
3	3,2	3	5,0

Общее замечание. Хотя в какой-то степени присвоение баллов всех порядковых показателей, принятое и используемое для расчетов, основано на тех или иных численных значениях (см. [3, табл. 1, 2, рис. 1, 2]), эти баллы реально отражают только порядок используемых значений параметров на порядковой шкале — больше/меньше. С учетом этого проведенные монотонные преобразования допустимы, так как не меняют порядок между исходными данными. Если все же считать используемые показатели в какой-то степени реальными значениями, соотношения между которыми корректны, то возникает вопрос, на каком основании проводятся арифметические действия с величинами, имеющими разные единицы измерения. Но такого обоснования нет, и не ясно, как обоснованы все значения исходных данных.

По результатам расчета с порядковыми величинами [3, табл. 3] города разделились на несколько

групп при общем диапазоне от 5 до 11 баллов: см. табл. 5 (столбец «Сумма баллов в статье [3]»). Первая группа: 11–9 баллов (высокие баллы жизнестойкости — 7 городов), вторая: 8–7 баллов («золотая середина» — 16 городов), третья: 6–5 баллов (наименее жизнестойкие — 5 городов). Результаты пересчета исходных **порядковых** данных (преобразования 1 и 2) после допустимых монотонно возрастающих преобразований представлены в табл. 6.

После преобразования 1 мы получим следующий результат: все города разделились на две равные группы — 11 и 12 баллов. После преобразования 2 деление городов: 18 баллов — 2 города, 16 баллов — 4 города, 13 баллов — 13 городов, 11 баллов — 9 городов. Видно, что результаты таких **допустимых** преобразований дают результат, сильно отличающийся от исходного, полученного в статье [3, табл. 3] (см. два последних столбца в табл. 5). Хотя если,

например, взять два наиболее жизнестойких и два наименее жизнестойких города, то они и после сделанных преобразований будут такими же. Само преобразование не меняет данные. Все соотношения между данными остались неизменными, поскольку **порядковые величины говорят только о том, что одна величина больше/меньше другой, но неизвестно, на сколько больше/меньше или во сколько раз больше/меньше.**

Таким образом, оценка жизнестойкости городов Российской Арктики и в данном случае выводы, полученные в статье [3] по результатам использования арифметических действий с порядковыми величинами, не могут считаться достоверными, так как они базируются исключительно на расчетах с величинами, заданными на шкале порядка, хотя и считающимися численными. Но выполнять на шкале порядка арифметические действия недопустимо, поэтому полученные в статье выводы не обоснованы.

Комплексное эколого-гидрохимическое районирование материковой части Арктической зоны России в контексте устойчивого развития региона

Дифференциация Арктической зоны по тем или иным показателям актуальна в контексте реализации принципов устойчивого развития территорий. В работе [4] предложен подход к выполнению комплексного районирования материковой части Арктической зоны по степени экологической напряженности территорий (подобный изложенному в [19]), основанной на эколого-гидрохимическом состоянии речных экосистем (качество воды, антропогенная нагрузка, устойчивость химического состава воды) и плотности населения [4]. Для этой оценки были выбраны арктические участки 18 рек.

Устойчивость химического состава воды — рассчитывались модальные интервалы значений концентрации приоритетных химических веществ за многолетний период (2000–2019 гг.), которые переводились в балльные оценки (представлены в сводной таблице [4, табл. 5]). Шкала оценки *антропогенной нагрузки* включает пять градаций на основе изменчивости модулей стока отдельных химических веществ: малая, умеренная, критическая, высокая и очень высокая. В отдельных случаях нагрузка может быть переходной из одной градации в другую. *Показатель качества воды* представлен на основе комплексной оценки качества воды нижних и/или устьевых участков арктических рек с использованием интегрального комплексного показателя — удельного комбинаторного индекса загрязненности воды. Стоит отметить, что в статье не раскрывается (и поэтому не совсем ясно), откуда для показателей *антропогенной нагрузки* и *качества воды* берутся нецелочисленные значения баллов.

Далее по этим трем показателям рассчитывался средний балл $B_1(ст)^2$ (предварительная балльная оценка экологической ситуации на участке реки), который округлялся до целых значений. *Балл оценки плотности населения* $B_2(ст)$ — целочисленные значения от 1 до 5 с учетом интервалов плотности населения [4, табл. 3]. В результате рассчитывался итоговый балл $B_{и}(ст) = \sqrt{B_1(ст) \times B_2(ст)}$. Все исходные балльные значения из статьи [4] приведены в табл. 7.

Для проверки корректности полученных выводов также воспользуемся допустимым монотонно возрастающим преобразованием исходных данных. Эти данные представлены на порядковой шкале, хотя они и не целочисленные. Выводы по результатам монотонного преобразования исходных данных, представленные в статье [4], не должны изменяться. Результаты преобразования (согласно табл. 8) приведены в табл. 9.

Видно, что, в сравнении с результатами расчета авторов статьи [4], итоговые значения $B_{и}(ст)$ после преобразования ($B_{и}(мп)$)³ принципиально отличаются от результатов, приведенных в статье [4]. Если ранее значения $B_{и}(ст)$ менялись в пределах от 1,41 до 3,87 (округленно: от 1 до 4), то сейчас значения $B_{и}(мп)$ изменяются от 1,30 до 5,48 (после округления: от 1 до 5). Это вполне закономерно, так как проведено монотонно возрастающее преобразование исходных данных. Различия округленных до целочисленных значений $B_{и}(ст)$ (см. табл. 7) и $B_{и}(мп)$ (см. табл. 9), рассчитанных до округления $B_1(мп)$ и $B_2(мп)$, имеют место для 9 из 18 пунктов наблюдений. Ячейки этих значений в табл. 9 выделены розовым цветом. Отметим, что в статье итоговый балл $B_{и}(ст)$ рассчитан уже после округления среднего балла $B_1(ст)$ до целых. Однако итоговое округление должно проводиться в самом конце всех расчетов. Иначе получается, что конечный результат начинает зависеть от того, сделано ли промежуточное округление какого-то параметра или нет (см. табл. 9 строки 11, 16–18, где помимо итоговых значений $B_{и}(мп)$ по неокругленным данным также приведены и итоговые значения $B_{и}(мп)$, рассчитанные после округления $B_1(мп)$ и $B_2(мп)$). Для таких «округленных значений» $B_{и}(мп)$ по сравнению с $B_{и}(ст)$ в табл. 7 различия имеют место уже для 6 пунктов наблюдений (строки 5–6, 8–11 без учета цвета). По расчетам, проведенным в статье [4], степень экологической напряженности территорий соответствует изменению экологической обстановки от относительно удовлетворительной (1 балл) до кризисной (4 балла). По рассчитанным данным после их монотонного преобразования — от относительно удовлетворительной (1 балл) до катастрофической (5 баллов) при подсчете итогового $B_{и}(мп)$ до округления промежуточных значений, а при округлении этих значений — до 6 баллов.

² $B_1(ст)$ — данные из анализируемой статьи [4].

³ $B_{и}(мп)$ — данные после монотонного преобразования.

Таблица 7

Сводная таблица баллов комплексной оценки эколого-гидрохимического состояния речных экосистем и степени экологической напряженности АЗРФ [4, табл. 5]

Река, пункт наблюдений		Показатели эколого-гидрохимического состояния речных экосистем			Средний балл Б ₁ (ст)	Балл по плотности населения Б ₂ (ст)	Итоговый балл Б _и (ст)
		Устойчивость химического состава воды	Антропогенная нагрузка	Качество воды			
Европейская часть							
1.	Адзъва, деревня Харута	2	5	3	3	1	1,73
2.	Кола, Кола	1	1,7	2,7	2	2	2,00
3.	Колва, Хорей-Вер	2	3,3	3	3	1	1,73
4.	Лотта, устье	1	1,7	2	2	2	2,00
5.	Печенга, станция Печенга	2	1,3	3,3	2	4	2,83
6.	Печора, Нарьян-Мар	2	2,7	3	3	5	3,87
7.	Сула, деревня Коткино	2	4	4	3	1	1,73
8.	Ура, село Ура-Губа	2	2,5	2	2	2	2,00
9.	Уса, поселок Усть-Уса	2	4,3	3,7	3	2	2,45
Западно-сибирская часть							
10.	Енисей, Игарка	2	2	3	2	5	3,16
11.	Обь, Салехард	3	2,7	4	3	5	3,87
12.	Пур, поселок Самбург	3	4	4	4	1	2,00
13.	Таз, поселок Красноселькуп	3	3,3	4	3	1	1,73
Восточно-сибирская часть							
14.	Анабар, село Саксылах	2	2,7	3	3	1	1,73
15.	Колыма, село Колымское	1	1	3	2	1	1,41
16.	Лена, село Кюсюр	2	1,3	3	2	1	1,41
17.	Индигирка, поселок Чокурдах	2	1,3	3	2	1	1,41
18.	Яна, станция Юбилейная	2	1,3	3	2	1	1,41

Примечание. Разные исходные значения отмечены различными цветами.

Таблица 8

Таблица пересчета исходных данных табл. 7
(монотонно возрастающее преобразование исходных данных)

Исходные значения	Множитель	Новые значения
1	1,01	1,010
1,3	1,30	1,690
1,7	1,40	2,380
2	1,30	2,600
2,5	1,10	2,750
2,7	1,05	2,835
3	1,01	3,030
3,3	1,30	4,290
3,7	1,60	5,920
4	1,50	6,000
4,3	1,60	6,88
5	1,52	7,600

Примечание. Цвета ячеек соответствуют таковым в табл. 7 и 8.

Таблица 9

Пересчитанная сводная таблица баллов комплексной оценки эколого-гидрохимического состояния
речных экосистем и степени экологической напряженности АЗРФ

Река, пункт наблюдений	Показатели эколого-гидрохимического состояния речных экосистем			Средний балл B ₁ (мл)	Балл по плотности населения B ₂ (мл)	Итоговый балл B ₃ (мл) по двум неокругленным значениям	Итоговый балл B ₄ (мл) по двум округленным значениям
	Устойчивость химического состава воды	Антропогенная нагрузка	Качество воды				
Европейская часть							
1. Адзья, деревня Харута	2,600	7,600	3,030	4,410	1,01	2,11	2,00
2. Кола, Кола	1,010	2,380	2,835	2,075	2,60	2,32	2,45
3. Колва, Хорей-Вер	2,600	4,290	3,030	3,307	1,01	1,83	1,73
4. Лотта, устье	1,010	2,380	2,600	1,997	2,60	2,28	2,45
5. Печенга, станция Печенга	2,600	1,690	4,290	2,860	6,00	4,14	4,24
6. Печора, Нарьян-Мар	2,600	2,835	3,030	2,822	7,60	4,63	4,90
7. Сула, деревня Коткино	2,600	6,000	6,000	4,867	1,01	2,22	2,24
8. Ура, село Ура-Губа	2,600	2,750	2,600	2,650	2,60	2,62	3,00
9. Уса, поселок Усть-Уса	2,600	6,880	5,920	5,133	2,60	3,65	3,87
Западно-сибирская часть							
10. Енисей, Игарка	2,600	2,600	3,030	2,743	7,60	4,57	4,90
11. Обь, Салехард	3,030	2,835	6,000	3,955	7,60	5,48	5,66
12. Пур, поселок Самбург	3,030	6,000	6,000	5,010	1,01	2,25	2,24
13. Таз, поселок Красноселькуп	3,030	4,290	6,000	4,440	1,01	2,12	2,00
Восточно-сибирская часть							
14. Анабар, село Саксылах	2,600	2,835	3,030	2,822	1,01	1,69	1,73
15. Колыма, село Колымское	1,010	1,010	3,030	1,683	1,01	1,30	1,41
16. Лена, село Кюсюр	2,600	1,690	3,030	2,440	1,01	1,57	1,41
17. Индигирка, поселок Чокурдах	2,600	1,690	3,030	2,440	1,01	1,57	1,41
18. Яна, станция Юбилейная	2,600	1,690	3,030	2,440	1,01	1,57	1,41

Примечания. Розовым цветом отмечены значения итоговых баллов B_4 (мл), рассчитанные с учетом монотонно возрастающего преобразования исходных данных (по табл. 8), отличающиеся от итоговых баллов B_4 (ст), приведенных в [4, табл. 5].

Преобразованием все значения «сдвинуты» в сторону увеличения значений, при этом порядок между исходными данными (что больше, что меньше) не изменился. Однако итоговая картина поменялась (см. табл. 9, столбец «Б_и(мп) по неокругленным значениям»). Основная и наиболее многочисленная группа районов ($n = 10$) с «напряженной» степенью экологической обстановки (округленное до целых значение Б_и(ст) = 2) увеличилась до 11 (выбыли районы № 8 и 9, но добавилось три района № 16–18 по Б_и(мп), рассчитанным до округления Б₁(мп) и Б₂(мп)). Из четырех районов со степенью экологической напряженности «относительно удовлетворительная» (№ 15–18) остался только один район № 15 с Б_и(мп) = 1. Остальные районы «перешли» в категорию «напряженная» (районы № 16–18). Районы № 8 и 9 вместо Б_и(ст) = 2 с напряженной экологической обстановкой стали «критическим» и «кризисным» (3 и 4 балла по Б_и(мп)). Районы № 5, № 6 и № 11 изменили итоговый балл на 1 балл в сторону увеличения, а район № 10 — на 2 балла.

Таким образом, итоговая картина изменилась, но не в плане роста значений Б_и (что неизбежно с учетом преобразований), а в части соотношений между ними, что зависит от выбора значений баллов. Например, появилось три района с баллом 5 — катастрофическая экологическая обстановка, которая отсутствовала прежде.

Кроме того, авторы статьи для всех четырех факторов приняли единую балльную шкалу с диапазоном 1–5. На такой шкале можно утверждать, что, например, для района 2 (р. Кола) фактор плотности населения (Б₂(ст) = 2 балла) имеет большую значимость, чем фактор антропогенной нагрузки (балл 1,7), но говорить, на сколько или во сколько раз больше, не имеет смысла и, соответственно, проводить арифметические операции с этими значениями невозможно.

Стоит отметить ряд нестыковок и несоответствий итоговых значений Б_и(ст) по [4, табл. 5] и полученного по ним комплексного районирования по степени экологической напряженности [4, рис. 3]. Так, по этой таблице получается, что напряженной экологической обстановке (округленный балл 2) соответствуют 10 участков, тогда как на схеме присутствует только 8 таких участков. Река Ура из таблицы с баллом 2 отсутствует на схеме, однако на ней есть объект — р. Надым, отсутствующий в таблице. Также р. Уса по таблице имеет округленный балл 2 (напряженная обстановка), однако на схеме она имеет категорию «критическая». Отсюда и различие в выводах авторов о состоянии речных экосистем по степени экологической напряженности: по тексту состояние оценивается как относительно удовлетворительное или напряженное — 72 %, по таблице — 78 %, а по представленной схеме — 67 %.

Замечания в отношении преобразований исходных данных. После преобразования исходных данных (табл. 7 → табл. 9 с учетом табл. 8) соотношения между ними (что больше, что меньше) не нарушены. Есть одно замечание по преобразованию интервалов плотности населения в баллы [4, табл. 3]. Если принять за средние значения плотности населения середины выделенных интервалов, то тогда согласно статье [4]: балл 1 — 0,32 чел/км² (0,04–0,60); 2 — 1,3 (0,61–2,00); 3 — 2,70 (2,01–3,40); 4 — 4,0 (3,41–4,60); 5 — 4,9 (4,60–5,23). Тогда соотношения между баллами и соотношения между средними количественными значениями существенно изменились. С учетом средних значений для интервалов для самой высокой и самой низкой плотности оно было $(4,9 \text{ чел/км}^2)/(0,32 \text{ чел/км}^2) = 15,3$, а после замены значений шкалы отношений на баллы это соотношение становится равным $5/1 = 5$, то есть уменьшается в 3 раза! Изменяются и другие соотношения после указанной замены количественных значений на баллы. То есть, если принятые баллы рассматривать как численные значения, а не порядковые, то одно такое преобразование уровней плотности населения (как в статье [4]) вносит существенное искажение в результаты расчетов. С другой стороны, при переходе от количественной шкалы (шкалы отношений) к качественной (шкале порядка) теряется возможность количественно сравнивать полученные значения, а следовательно, возникают и ограничения на все арифметические операции с этими данными.

В отношении монотонного преобразования исходных данных (в табл. 8): могут быть подобраны и другие значения множителей, которые могут иначе, чем в приведенном нами примере, изменить итоговые выводы.

Таким образом, комплексное районирование материковой части АЗРФ по степени экологической напряженности территории, приведенное в статье [4], может иметь другую картину, если провести допустимые на порядковой шкале преобразования исходных данных, с которыми проводятся арифметические операции. Следовательно, полученные выводы не вполне обоснованы.

Выводы

На примерах показано, что использование арифметических действий с порядковыми величинами приводит к результатам и выводам, которые не обоснованы и, как правило, не корректны. При этом исследователь, проведя такие вычисления, даже не может сказать, что и где в расчетах и сформулированных на их основе выводах не корректно.

При использовании в расчетах порядковых величин необходимо исходить из положений теории измерений о том, что не существует алгебраических

операций с этими величинами. Необходимо использовать другие методы [20], в частности метод анализа иерархий [13], при котором исходные балльные значения (а не переведенные значения на шкале

отношений в баллы на порядковой шкале) переводятся в значения на шкале отношений специальным образом.

Список источников

1. Кольский залив и нефть: биота, карты уязвимости, загрязнение / под ред. А. А. Шавыкина. СПб.: Реноме; 2018. 520 с. <http://doi.org/10.25990/renomespb.w0pj-zq52>.
2. Мирзабекова Ж. Б., Губайдуллин М. Г. Анализ геоэкологических факторов, влияющих на выбор варианта вывоза нефти из Долгинского месторождения // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2024. № 6 (321). С. 70–77.
3. Никитин Б. В. Оценка потенциала жизнестойкости городов российской Арктики: фактор экономической специализации // Арктика: экология и экономика. 2023. № 13 (1). С. 106–118. <http://doi.org/10.25283/2223-4594-2023-1-106-118>.
4. Решетняк О. С., Коваленко А. А. Комплексное эколого-гидрохимическое районирование материковой части Арктической зоны России в контексте устойчивого развития региона // Арктика: экология и экономика. 2023. № 13 (2). С. 234–247. <http://doi.org/10.25283/2223-4594-2023-2-234-247>.
5. Орлов А. И. Организационно-экономическое моделирование. В 3 ч. Ч. 2. Экспертные оценки. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. 486 с. URL: <http://ebooks.bmstu.ru/catalog/153/book1069.html> (дата обращения: 06.10.2020).
6. JCGM 200:2008. Международный словарь по метрологии: основные и общие понятия и соответствующие термины. СПб.: НПО «Профессионал», 2010. 82 с. URL: http://ipg.geospace.ru/metrology/docs/JCGM_200_2008-trans.pdf (дата обращения: 19.08.2025).
7. РМГ 83-2007. Государственная система обеспечения единства измерений. Шкалы измерений. Термины и определения. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. М.: Стандартинформ, 2008. 24 с. URL: <https://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=101&page=1&month=-1&year=-1&search=&RegNum=53&DocOnPageCount=500&id=196359> (дата обращения: 19.08.2025).
8. Stevens S. S. On the Theory of Scales of Measurement // Science. 1946. No. 103. P. 677–680. <https://doi.org/10.1126/science.103.2684.677>.
9. Stevens S. S. Mathematics, measurement, and psychophysics / Ed. S. S. Stevens // Handbook of experimental psychology. New York: Wiley, 1951. P. 1–49.
10. Суппес П., Зинес Дж. Основы теории измерений // Психологические измерения: Сборник / пер. с англ. Е. Ю. Артемьевой. М.: Изд. Мир, 1967. С. 9–110.
11. Пфанцагль И. Теория измерений / пер. с англ. В. Б. Кузьмина. М.: Изд-во «Мир», 1976. 248 с.
12. Веллеман П. Ф., Уилкинсон Л. Типология номинальных, ординальных, интервальных и относительных шкал вводят в заблуждение // Социология. 4М. 2011. № 33. С. 166–193.
13. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
14. Shavykin A., Karnatov A. The Issue of Using Ordinal Quantities to Estimate the Vulnerability of Seabirds to Oil Spills // Journal of Marine Science and Engineering. 2020. Vol. 8, no. 12. P. 1026. <https://doi.org/10.3390/jmse8121026>.
15. Shavykin A., Karnatov A. The Issue of Using Ordinal Quantities to Estimate the Vulnerability of Seabirds to Wind Farms // Journal of Marine Science and Engineering. 2022. Vol. 10, no. 11. P. 1584. <https://doi.org/10.3390/jmse10111584>.
16. Шавыкин А. А., Ильин Г. В. Оценка интегральной уязвимости Баренцева моря от нефтяного загрязнения. Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2010. 110 с.
17. Garthe S., Hüppop O. Scaling possible adverse effects of marine wind farms on seabirds: Developing and applying a vulnerability index // J. Appl. Ecol. 2004. Vol. 41. P. 724–734. <https://doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00918.x>.
18. Furness R. W., Wade H. M., Masden E. A. Assessing vulnerability of marine bird populations to offshore wind farms // J. Environ. Manag. 2013. Vol. 119. P. 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.025>.
19. Экологический атлас Ростовской области / под ред. В. Е. Закруткина. Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. 120 с.
20. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Наука и искусство принятия решений. Кн. 2. Принятие решений в условиях неопределенности: от метода анализа иерархий до нечетких моделей. М.: ЛЕНАНД, 2021. 800 с.

References

1. *Kol'skii zaliv i neft': biota, karty uyazvimosti, zagryaznenie* [Kola Bay and oil: Biota, vulnerability maps, pollution]. St. Petersburg, Renome, 2018, 520 p. doi:10.25990/renomespb.w0pj-zq52. (In Russ.).
2. Mirzabekova Zh. B., Gubaidullin M. G. Analiz geoeologicheskikh faktorov, vliyayushchikh na vybor varianta vyvoza nefti iz Dolginskogo mestorozhdeniya [Analysis of geo-ecological factors affecting the choice of oil evacuation method from the Dolginskoye oil field]. *Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse* [Environmental Protection in Oil and Gas Complex], 2024, vol. 6, no. 321, pp. 70–77. (In Russ.).
3. Nikitin B. V. Otsenka potentsiala zhiznesteikosti gorodov rossiiskoi Arktiki: faktor ekonomicheskoi spetsializatsii [Assessing the resilience potential of the Russian Arctic cities: The factor of economic specialization]. *Arktika: ekologiya i ekonomika* [Arctic: Ecology and Economy], 2023, vol. 13, no. 1, pp. 106–118. doi:10.25283/2223-4594-2023-1-106-118. (In Russ.).

4. Reshetnyak O. S., Kovalenko A. A. Kompleksnoe ekologo-gidrokhimicheskoe raionirovaniye materikovoi chasti Arkticheskoi zony Rossii v kontekste ustoichivogo razvitiya regiona [Comprehensive ecological and hydrochemical zoning of the mainland part of the Russian Arctic zone in the context of the region sustainable development]. *Arktika: ekologiya i ekonomika* [Arctic: Ecology and Economy], 2023, vol. 13, no. 2, pp. 234–247. doi:10.25283/2223-4594-2023-2-234-247. (In Russ.).
5. Orlov A. I. *Organizatsionno-ekonomicheskoe modelirovaniye*. V 3 ch. Ch. 2. Ekspertnye otsenki [Organizational and economic modeling. In 3 parts. Part 2. Expert assessments]. Moscow, Bauman Moscow State Technical University, 2011, 486 p. Available at: <http://ebooks.bmstu.ru/catalog/153/book1069.html> (accessed 06.10.2020). (In Russ.).
6. JCGM 200:2008. *Mezhdunarodnyi slovar' po metrologii: osnovnye i obshchie ponyatiya i sootvetstvuyushchie terminy* [International vocabulary of metrology: Basic and general concepts and associated terms]. St. Petersburg, NPO "Professional", 2010, 82 p. Available at: http://ipg.geospace.ru/metrology/docs/JCGM_200_2008-trans.pdf (accessed 19.08.2025). (In Russ.).
7. RMG 83-2007. *Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmerenii. Shkaly izmerenii. Terminy i opredeleniya. Rekomendatsii po mezhdunarodnoi standartizatsii* [State system for ensuring the uniformity of measurements. Measurement scales. Terms and definitions. Recommendations for interstate standardization]. Moscow, Standartinform, 2008, 24 p. Available at: <https://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=101&page=1&month=-1&year=-1&search=&RegNum=53&DocOnPageCount=500&id=196359> (accessed 19.08.2025). (In Russ.).
8. Stevens S. S. On the theory of scales of measurement. *Science*, 1946, no. 103, pp. 677–680. doi:10.1126/science.103.2684.677.
9. Stevens S. S. *Mathematics, measurement, and psychophysics. Handbook of experimental psychology*. New York, Wiley, 1951, pp. 1–49.
10. Suppes P., Zinnes J. L. *Osnovy teorii izmerenii. Psikhologicheskie izmereniya: Sbornik* [Basic measurement theory. In: Handbook of psychological measurements]. Moscow, Mir Publishing House, 1967, pp. 9–110. (In Russ.).
11. Pfanzagl J. *Teoriya izmerenii* [Theory of Measurement]. Moscow, Mir Publishing House, 1976, 248 p. (In Russ.).
12. Velleman P. F., Wilkinson L. Tipologiya nominal'nyh, ordinal'nyh, interval'nyh i otnositel'nyh shkal vvodyat v zabluzhdenie [Nominal, ordinal, interval, and ratio typologies are misleading]. *Sotsiologiya. 4M* [Sociology. 4M], 2011, no. 33, pp. 166–193. (In Russ.).
13. Saati T. *Prinyatie reshenii. Metod analiza ierarkhii* [How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process]. Moscow, Radio i svyaz', 1993, 278 p. (In Russ.).
14. Shavykin A., Karnatov A. The Issue of Using Ordinal Quantities to Estimate the Vulnerability of Seabirds to Oil Spills. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2020, vol. 8, no. 12, p. 1026. doi:10.3390/jmse8121026.
15. Shavykin A., Karnatov A. The issue of using ordinal quantities to estimate the vulnerability of seabirds to wind farms. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2022, vol. 10, no. 11, p. 1584. doi:10.3390/jmse10111584.
16. Shavykin A. A., Ilyin G. V. *Otsenka integral'noi uyazvimosti Barentseva morya ot nefryanogo zagryazneniya* [Assessment of the integral vulnerability of the Barents Sea to oil pollution]. Murmansk, MMBI KSC RAS, 2010, 110 p. (In Russ.).
17. Garthe S., Hüppop O. Scaling possible adverse effects of marine wind farms on seabirds: Developing and applying a vulnerability index. *Journal of Applied Ecology*, 2004, vol. 41, pp. 724–734. doi:10.1111/j.0021-8901.2004.00918.x.
18. Furness R. W., Wade H. M., Masden E. A. Assessing vulnerability of marine bird populations to offshore wind farms. *J. Environ. Manag.*, 2013, vol. 119, pp. 56–66. doi:10.1016/j.jenvman.2013.01.025.
19. *Ekologicheskii atlas Rostovskoi oblasti* [Ecological atlas of the Rostov Region]. Rostov on Don, SKNC VSh, 2000, 120 p. (In Russ.).
20. Andreichikov A. V., Andreichikova O. N. *Nauka i iskusstvo prinyatiya reshenii*. Kn. 2. Prinyatie reshenii v usloviyakh neopredelennosti: ot metoda analiza ierarkhii do nechetkikh modelei [The science and art of decision-making. Book 2. Decision-making under uncertainty: From the analytic hierarchy process to fuzzy models]. Moscow, LENAND, 2021, 800 p. (In Russ.).

Об авторах:

А. А. Шавыкин — канд. техн. наук, докт. географ. наук, главный научный сотрудник лаборатории планктона;
 А. Н. Карнатов — научный сотрудник лаборатории планктона.

About the authors:

A. A. Shavykin — PhD (Engineering), DSc (Geography), Chief Researcher in the Plankton Laboratory;
 A. N. Karnatov — Researcher in the Plankton Laboratory.

Статья поступила в редакцию 07 ноября 2025 года.

Статья принята к публикации 02 февраля 2026 года.

The article was submitted on November 07, 2025.

Accepted for publication on February 02, 2026.