

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ МОРФИЗМ****Цветков Виктор Яковлевич<sup>1</sup>,***д-р техн. наук, профессор,**e-mail: cvj7@mail.ru,*

<sup>1</sup>Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»), г. Москва, Россия

*Статья посвящена исследованию геоинформационного морфизма в геоинформационном поле. Несмотря на фактическое применение этого подхода и метода, теоретических исследований в этой области не проводилось. Геоинформационный морфизм и категориальный морфизм имеют сходства и различия. Геоинформационный морфизм есть морфизм пространственных преобразований. Геоинформационный морфизм дает возможность связать логические отношения, пространственные отношения, категориальные отношения и функциональные связи в единый аналитический комплекс. Раскрывается содержание геоинформационного морфизма. Показана аналогия между логическим квадратом и коммутативной диаграммой из теории категорий. Показана связь геоинформационного морфизма с информационным морфизмом. Раскрывается содержание трех видов геоинформационного морфизма: биективный, инъективный и сюръективный геоинформационный морфизм. Показано качественное различие задач, которые решают эти виды морфизма. Три вида геоинформационного морфизма дополняют друг друга и позволяют решать задачи пространственных преобразований. Даны рекомендации по развитию направления исследования геоинформационного морфизма.*

**Ключевые слова:** геоинформационное поле, пространственные преобразования, морфизм, геоинформационный морфизм, категории

**GEOINFORMATION MORPHISM****Tsvetkov V.Ya.<sup>1</sup>,***doctor of technical sciences, professor,**e-mail: cvj7@mail.ru,*

<sup>1</sup>Open Joint Stock Company "Scientific Research and Design Institute for Information Technology, Automation and Communication on Railway Transport" (JSC "NIAS"), Moscow, Russia

*The article is focused on the study of geoinformation morphism in the geoinformation field. Despite the actual application of this approach and method, theoretical studies in this area have not been conducted. Geoinformation morphism and categorical morphism have similarities and differences. Geoinformation morphism is a morphism of spatial transformations. Geoinformation morphism makes it possible to link logical relations, spatial relations, categorical relations and functional connections into a single analytical complex. The content of geoinformation morphism is revealed. The analogy between the logical square and the commutative diagram from category theory is shown. The relationship of geoinformation morphism with information morphism is shown. The content of three types of geoinformation morphism is revealed: bijective geoinformation morphism, injective geoinformation morphism, surjective geoinformation morphism. The qualitative difference in the tasks solved by these types of morphism is shown. Three types of geoinformation morphism complement each other and allow solving problems of spatial transformations. Recommendations are given for the development of the direction of research of geoinformation morphism.*

**Keywords:** geoinformation field, spatial transformations, morphism, geoinformation morphism, categories

DOI 10.21777/2500-2112-2024-4-84-91

## Введение

Объекты реальности характеризуются взаимодействиями между собой и переходами из одного состояния в другое. Кроме переходов состояний существуют преобразования объектов, например, преобразование одного множества в другое. Ряд преобразований множеств относят к преобразованиям категорий [1–3]. В настоящее время для анализа в информационной области применяют модель информационного поля [4; 5]. В области анализа пространственной информации применяют модель геоинформационного поля. Геоинформационное поле есть интегральная многомерная модель реальности [6–8], которое отражает взаимодействия и преобразования. Информационное и геоинформационное поле содержат явную и скрытую информацию. Преимущество информационного и геоинформационного поля заключается в возможности комплексного анализа информации и извлечения неявных знаний. Геоинформационное поле позволяет создавать информационные модели, такие как пространственная информационная ситуация, информационная конструкция и пространственная метамодель [9]. В геоинформационном поле взаимодействия трансформируются в информационные взаимодействия [10]. Одним из видов преобразования в информационном поле является информационный морфизм [11; 12]. В геоинформационном поле его аналогом является геоинформационный морфизм.

### Особенности геоинформационного морфизма

Геоинформационный морфизм – это морфизм пространственных преобразований [13], который оперирует с данными и геоданными. Геоинформационный морфизм позволяет раскрывать содержание процессов преобразования и саморазвития в пространстве. Видом морфизма является алгоритмическая обработка информации в информатике и геоинформатике. Геоинформационное поле содержит семантику реального мира. Оно содержит модели пространственных объектов и процессов реального мира. Отношение между объектами и моделями можно представить как парадигму

$$O \wedge CS \rightarrow GM \rightarrow SM \wedge SR. \quad (1)$$

В выражении (1) приняты следующие обозначения:

- O – пространственные объекты;
- CS – координатное пространство;
- GM – геоинформационный морфизм;
- SM – пространственные модели;
- SR – пространственные отношения.

Все стрелки в выражении (1) являются отношениями. Геоинформационное поле содержит не только семантику, но и знания. Отношение между информацией геоинформационного поля и знанием можно представить в виде парадигмы

$$I \rightarrow FFM \rightarrow AM \wedge SR \rightarrow SKN. \quad (2)$$

В выражении (2) приняты следующие обозначения:

- I – информация;
- FFM – фактофиксирующие модели или геоданные;
- AM – аналитические модели (модели пространственных объектов и процессов);
- SR – пространственные отношения;
- SKN – пространственные знания.

Все стрелки в выражении (2) являются морфизмами или категориальными переходами. Важным следует считать, что пространственное знание получают только при использовании геоинформационного морфизма. Парадигма (2) отражает качественные переходы как пример геоинформационного морфизма.

Геоинформационное поле позволяет находить реальные связи и отношения между пространственными объектами. Геоинформационное поле и геоинформационный морфизм позволяют изучать процессы реального мира. Геоинформационный морфизм использует логические и информационные отношения для пространственных преобразований. Геоинформационное поле и геоинформационный морфизм позволяют исследовать динамику объектов и процессов. Координатное пространство неразрывно связано с геоинформационным полем (1) и позволяет создавать его описание. Разные системы

координат: сферическая, цилиндрическая, декартова задают разное формальное описание моделей объектов. Но сущность или семантика модели объекта не меняется. Геоинформационное поле является гетерогенным. Поэтому в нем применима технология кластеризации [14]. Геоинформационное поле позволяет решать задачи пространственного управления и пространственной экономики.

### Логика и категории в геоинформационном поле

Для уяснения содержания геоинформационного морфизма целесообразно сравнить элементы логики и теории категорий. При сравнении категорий и коммутативных диаграмм возникает аналогия между логическим квадратом и конструкцией, которую в теории категорий называют коммутативной диаграммой.

Логический квадрат служит для конструирования суждений [15; 16]. На основании отношений логического квадрата, который ввел еще Аристотель (рисунок 1), можно делать умозаключения по отношению противоречия и противоположности суждений. Логический квадрат фиксирует наличие определенных отношений.

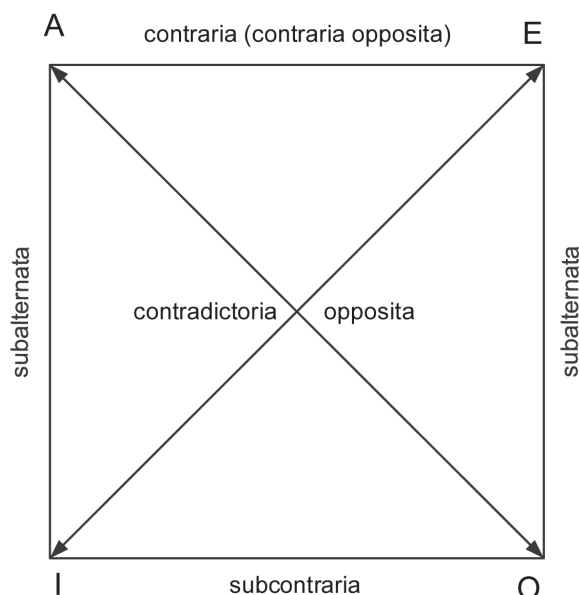


Рисунок 1 – Логический квадрат

Переменная  $A$  (рисунок 1), которую ввел Аристотель, означает общеутвердительное суждение. Переменная  $E$  означает общеотрицательное суждение. Переменная  $I$  означает частноутвердительное суждение. Переменная  $O$  означает частноотрицательное суждение. Эти переменные используются для обозначений модусов и логического вывода. Между собой они находятся в логических отношениях, которые в информационном и геоинформационном поле являются также информационными отношениями. Эти отношения могут быть оппозиционными и подчиненными. Пары переменных обозначают суждение. Суждения  $(A - I)$  и  $(E - O)$  всегда истинны. Это дедуктивное следование. Суждения  $(A - O)$  и  $(E - I)$  не могут быть одновременно истинными или ложными. Они находятся в отношениях оппозиции, которая называется контрадиктивная (лат. *contradictoria*) или противоречивая. Суждения  $(A - E)$  не могут быть одновременно истинными или ложными. Они находятся в отношениях оппозиции, которая называется контрактивная (лат. *contrarie*) или отношение противоположности. Например, пара: «всегда – никогда»  $(A - E)$  всегда контрактивная. Логический квадрат строился по оппозиционному принципу на оппозиционных логических переменных. В настоящее время на этих принципах строится оппозиционный анализ. В логическом квадрате существуют следующие оппозиционные отношения:

- 1) отношение противоположности или контрактивное отношение;

- 2) отношение противоречия или контрадиктивное отношение;
- 3) отношения противопоставления соподчиненных видовых понятий, имеющих общее родовое понятие;
- 4) отношение противопоставления частей, образующих единое целое;
- 5) отношение противопоставления взаимоисключающих категорий.

Контрактивное противопоставление подразумевает наличие общего категориального признака, крайние точки которого образуют оппозиционную шкалу (например, твердость – мягкость, сложность – простота). В основе контрадикторных противопоставлений лежит дихотомическое деление: однозначность – неоднозначность, значащее – незначащее, производность – не производность. Важным является то, что отношения распространяются на категории. В выражении (1) присутствуют отношения, в выражении (2) присутствуют морфизмы. Это отражает аналогию между логическим квадратом (рисунок 1) и коммутативной диаграммой (рисунок 2).

В теории категорий [3] для описания морфизмов применяют коммутативную диаграмму. Это ориентированный граф (рисунок 2), в вершинах которого находятся объекты, а стрелками являются морфизмы, причём результат композиции стрелок не зависит от выбранного пути.

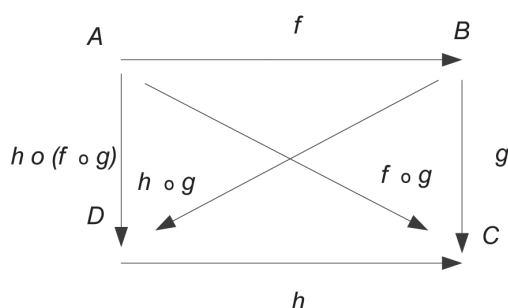


Рисунок 2 – Коммутативная диаграмма

На рисунке 2 переменные A, B, D, C обозначают категории. На рисунке 1 переменные обозначают суждения. На рисунке 2 стрелки обозначают морфизмы или возможные переходы (преобразования). На рисунке 2 стрелки f, g, h обозначают морфизмы. Стрелки  $(f \circ g)$ ,  $(h \circ g)$ ,  $[h \circ (f \circ g)]$  обозначают композиции морфизмов [3; 17]. Конструктивно схемы на рисунках 1 и 2 похожи, но содержательно различаются. На рисунке 1 A – O недопустимый переход. На рисунке 2 его структурный аналог A – B допустимый переход. Все стрелки на рисунке 2 показывают допустимые переходы. Рисунок 2 может служить основой для объяснения геоинформационного морфизма.

### Три вида геоинформационного морфизма

В процессе пространственного или геоинформационного морфизма происходят преобразования множеств. Например, одно множество координат преобразуется в другое. При таком преобразовании возможно тождественное преобразование, преобразование со сжатием информации и преобразование с расширением информации. По этим критериям различают биективный геоинформационный морфизм, инъективный геоинформационный морфизм, сюръективный геоинформационный морфизм.

Биективный информационный морфизм в пространственных преобразованиях является наиболее распространенным процессом. Характерным видом этого морфизма является трансформация плоских поверхностей, биекция или биективный морфизм. При биективном морфизме элементу первого множества M1 соответствует один элемент второго множества M2. Для биективного морфизма определен обратный процесс. Элементу множества M2 соответствует элемент множества M1. Биективный морфизм является взаимно однозначным отображением. Это показано двойной стрелкой. Биективный морфизм между различными объектами в информационном поле предстает как специальная информационная модель. Рисунок 3 иллюстрирует биективный информационный морфизм для координирован-

ных множеств. Координированными множествами называют множества, точки которых упорядочены в заданной системе координат.

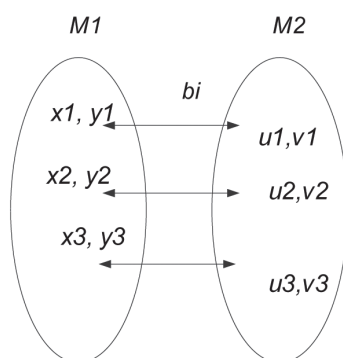


Рисунок 3 – Биективный морфизм

На рисунке 3 изображен биективный морфизм между множеством M1 и множеством M2. Биективный морфизм может иметь категориальный характер и функциональный характер. Функция *bi* называется биекцией и имеет обозначение

$$bi : X, Y \leftrightarrow U, V. \quad (3)$$

Выражение (3) имеет категориальное описание. Оно отражает взаимное категориальное преобразование элементов двухмерного множества M1(x, y) в элементы двухмерного множества M2(u, v). Такое свойство преобразования называется биективностью. Категориальному преобразованию как уточнение может ставиться в соответствие функциональное преобразование. Примером функционального геоинформационного биективного морфизма является преобразование координат из одной плоскости M1 в другую плоскость M2

$$x = \frac{uA_1 + vA_2 + A_3}{uA_7 + vA_8 + 1}. \quad (4)$$

$$y = \frac{uA_3 + vA_4 + A_3}{uA_7 + vA_8 + 1}. \quad (5)$$

Выражения (4), (5) описывают процесс получения координат плоскости (x, y) из координат плоскости (u, v). Существует обратное преобразование

$$u = \frac{xB_1 + yB_2 + B_3}{xB_7 + yB_8 + 1}. \quad (6)$$

$$v = \frac{xB_3 + yB_4 + B_3}{xB_7 + yB_8 + 1}. \quad (7)$$

Выражения (4), (5) описывают прямое преобразование, выражения (6), (7) описывают обратное преобразование.

На рисунке 4 приведен геоинформационный сюръективный морфизм. Он обозначает сжатие информации. Обычный сюръективный морфизм обычно показывает сжатие точек. Геоинформационный сюръективный морфизм описывает преобразование, связанное со сжатием пространства. На рисунке 4 показано преобразование трехмерного пространства M3 в двухмерное пространство M2. Такая процедура имеет место при фотографировании. Трехмерная реальность отображается на двухмерный плоский снимок.

Сжатие информации заключается в отображении плоскими координатами трехмерной реальности с потерей третьей координаты (3D-2D). Любой элемент копии из M2 имеет свой оригинал из M3. Такое свойство называется сюръективностью, что отражает выражение (8)

$$\forall y \in M3, \exists x \in M2; f(x) = y. \quad (8)$$

Обратная процедура (2D-3D) невозможна. Для расширения информации применяют геоинформационный инъективный морфизм (рисунок 5).

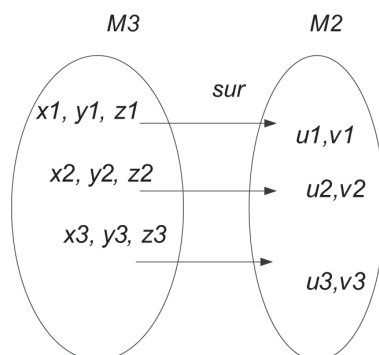


Рисунок 4 – Геоинформационный сюръективный морфизм

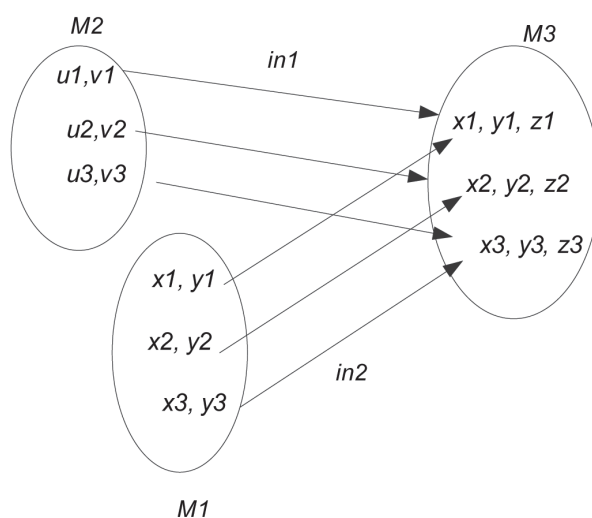


Рисунок 5 – Геоинформационный инъективный морфизм

Расширение информации в геоинформатике и фотограмметрии основано на использовании нескольких нетождественных множеств меньшей размерности для формирования множества большей размерности. На рисунке 5 это соответствует использованию множества точек одного снимка  $M1$  и множества точек другого снимка  $M2$  для формирования множества точек трехмерной реальности  $M3$ . Множество  $M3$  может быть моделью реальности и может быть соответствием реальности.

### Заключение

Геоинформационный морфизм применяют для описания преобразований между объектами, между средами и между объектами и средами. Геоинформационный морфизм как пространственное преобразование может быть биективно, сюръективно и инъективно. Геоинформационный морфизм имеет основу в логических отношениях (рисунок 1), поэтому он является логически обоснованной процедурой. Геоинформационный морфизм в геоинформационном поле реализуют либо в виде информационной технологии, либо в виде функционального преобразования. Геоинформационный сюръективный морфизм служит основой функционирования информационно-измерительных систем. Геоинформационный биективный морфизм служит основой преобразований в одной размерности. Геоинформационный инъективный морфизм служит основой перехода к большей размерности. Преимущество геоинформационного морфизма в возможности анализа с использованием категорий, функций и сопоставления функций категориям.

## Список литературы

1. *Riehl E., Verity D.* Elements of  $\infty$ -Category Theory. – Cambridge University Press, 2022. – 759 с.
2. *Groth M.* A short course on  $\infty$ -categories // Handbook of homotopy theory. – Chapman and Hall/CRC, 2020. – P. 549–617.
3. Математика. Большой энциклопедический словарь / гл. ред. Ю.В. Прохоров. – 3-е изд. – Москва: Большая российская энциклопедия, 2000. – 848 с.
4. *Раев В.К.* Информационное пространство и информационное поле // Славянский форум. – 2021. – № 4 (34). – С. 87–96.
5. *Цветков В.Я., Данилов М.А., Литвинов В.В., Курдюков Н.С.* Семантическое образное моделирование в информационном поле // Образовательные ресурсы и технологии. – 2023. – № 4 (45). – С. 70–78.
6. *Бучкин В.А.* Геоинформационное поле и геоинформационное пространство // Славянский форум. – 2022. – Т. 4, № 38. – С. 466–476.
7. *Болбаков Р.Г.* Преобразования в геоинформационном поле // Образовательные ресурсы и технологии. – 2021. – № 2 (35). – С. 42–49.
8. *Ознамец В.В.* Геоинформационное поле // Вектор ГеоНаук. – 2022. – Т. 5, № 1. – С. 58–64.
9. *Цветков В.Я., Булгаков С.В., Титов Е.К., Рогов И.Е.* Метамоделирование в геоинформатике // Информация и космос. – 2020. – № 1. – С. 112–119.
10. *Елсуков П.Ю.* Анализ отношения и взаимодействия в информационном поле // Славянский форум. – 2019. – № 1 (23). – С. 110–115.
11. *Охотников А.Л.* Информационный морфизм в информационном поле // Перспективы науки и образования. – 2017. – № 4 (28). – С. 7–11.
12. *Родин А.В.* Теория категорий и поиски новых математических оснований физики // Вопросы философии. – 2010. – Т. 6. – С. 67–82.
13. *Дышленко С.Г.* Информационный морфизм пространственных преобразований // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2018. – № 6 (10). – С. 21–26.
14. *Козлов А.В.* Кластеризация и субсидиарность // Славянский форум. – 2018. – № 3 (21). – С. 87–92.
15. *Тоноян Л.Г.* История логического квадрата: связь онтологических оснований и логического следования // Вестник Ленинградского государственного университета имени А.С. Пушкина. – 2011. – Т. 2, № 4. – С. 158–169.
16. *Лобовиков В.О.* «Логический квадрат» в формальной логике и «этический квадрат» в формальной этике: их алетическая, деонтическая и квантификационная интерпретации // Логико-философские штудии. – 2012. – Т. 9, № 4. – С. 23–36.
17. *Хелемский А.Я.* Лекции по функциональному анализу. – Москва: МЦНМО, 2014. – URL: <https://www.litres.ru/book/a-ya-helemskiy/lekicii-po-funkcionalnomu-analizu-9011160/> (дата обращения: 10.08.2024). – Текст: электронный.

## References

1. *Riehl E., Verity D.* Elements of  $\infty$ -Category Theory. – Cambridge University Press, 2022. – 759 s.
2. *Groth M.* A short course on  $\infty$ -categories // Handbook of homotopy theory. – Chapman and Hall/CRC, 2020. – P. 549–617.
3. Matematika. Bol'shoj enciklopedicheskij slovar' / gl. red. Yu.V. Prohorov. – 3-e izd. – Moskva: Bol'shaya rossijskaya enciklopediya, 2000. – 848 s.
4. *Raev V.K.* Informacionnoe prostranstvo i informacionnoe pole // Slavyanskij forum. – 2021. – № 4 (34). – S. 87–96.
5. *Cvetkov V.Ya., Danilov M.A., Litvinov V.V., Kurdyukov N.S.* Semanticheskoe obraznoe modelirovanie v informacionnom pole // Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii. – 2023. – № 4 (45). – S. 70–78.
6. *Buchkin V.A.* Geoinformacionnoe pole i geoinformacionnoe prostranstvo // Slavyanskij forum. – 2022. – Т. 4, № 38. – S. 466–476.
7. *Bolbakov R.G.* Preobrazovaniya v geoinformacionnom pole // Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii. – 2021. – № 2 (35). – S. 42–49.

8. *Oznamec V.V.* Geoinformacionnoe pole // *Vektor GeoNauk*. – 2022. – Т. 5, № 1. – С. 58–64.
9. *Cvetkov V.Ya., Bulgakov S.V., Titov E.K., Rogov I.E.* Metamodelirovanie v geoinformatike // *Informaciya i kosmos*. – 2020. – № 1. – С. 112–119.
10. *Elsukov P.Yu.* Analiz otnosheniya i vzaimodejstviya v informacionnom pole // *Slavyanskij forum*. – 2019. – № 1 (23). – С. 110–115.
11. *Ohotnikov A.L.* Informacionnyj morfizm v informacionnom pole // *Perspektivy nauki i obrazovaniya*. – 2017. – № 4 (28). – С. 7–11.
12. *Rodin A.V.* Teoriya kategorij i poiski novyh matematicheskikh osnovanij fiziki // *Voprosy filosofii*. – 2010. – Т. 6. – С. 67–82.
13. *Dyshlenko S.G.* Informacionnyj morfizm prostranstvennyh preobrazovanij // *ITNOU: Informacionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii*. – 2018. – № 6 (10). – С. 21–26.
14. *Kozlov A.V.* Klasterizaciya i subsidiarnost' // *Slavyanskij forum*. – 2018. – № 3 (21). – С. 87–92.
15. *Tonoyan L.G.* Istoriya logicheskogo kvadrata: svyaz' ontologicheskikh osnovanij i logicheskogo sledovaniya // *Vestnik Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta imeni A.S. Pushkina*. – 2011. – Т. 2, № 4. – С. 158–169.
16. *Lobovikov V.O.* «Logicheskij kvadrat» v formal'noj logike i «eticheskij kvadrat» v formal'noj etike: ih aleticheskaya, deonticheskaya i kvantifikacionnaya interpretacii // *Logiko-filosofskie shtudii*. – 2012. – Т. 9, № 4. – С. 23–36.
17. *Helemskij A.Ya.* Lekcii po funkcional'nomu analizu. – Moskva: MCNMO, 2014. – URL: <https://www.litres.ru/book/a-ya-helemskiy/lekcii-po-funkcionalnomu-analizu-9011160/> (data obrashcheniya: 10.08.2024). – Tekst: elektronnyj.