



## Пространственные отношения в экологических исследованиях

Статья анализирует пространственные отношения как специфический пространственный и экономический фактор. Показана роль геоинформатики в выявлении и описании пространственных отношений. Показаны особенности применения пространственных отношений в экологии. Приведена формализация пространственных отношений. Дана методика оценки экологической емкости или экологического ресурса территорий с применением пространственных отношений.

**Ключевые слова:** прикладная экология, экологическое моделирование, пространственные отношения, информационные модели, информационные отношения



## Spatial relationships in ecological studies

The article analyzes the spatial relations as a specific spatial and economic factors. The article reveals the role of geoinformatics in the identification and description of spatial relations. The article analyzes the features of the application of spatial relationships in the environment. The article gives a method of formalization of spatial relations. Article results in method of estimating the environmental capacity and environmental resource areas using spatial relations.

**Keywords:** applied ecology, environmental modeling, spatial relationships, information models, information relations

### Введение

Научное направление экология все шире применяется в разных прикладных областях. Экология исследует ряд специфических пространственных факторов, которые в других научных направлениях не изучаются [1-3]. В тоже время социальное значение экологии возрастает. Это обусловлено тем, что развитие общества характеризуется обострением противоречий между человеком и окружающей средой. Мировой экологический тренд породил множество проблем, связанных с ухудшением природно-экологических и социально-экономических условий жизнедеятельности населения. Поэтому в современной экологии важное значение имеют исследования, направленные на разработку научных основ анализа и оценки состояния природных, природно-ан-

тропогенных и антропогенных геосистем. Сложность выполнения научных исследований в области взаимодействия природы и общества, обусловлена необходимостью учета множества природных закономерностей и антропогенных факторов, для которых не существует точных аналитических описаний. Это побуждает применение информационного подхода [4] и пространственного анализа для анализа и оценке экологических ситуаций.

Пространственный экологический анализ в экологии связывают с ковариантным и варинатным анализом [5]. Отчасти это связано с кригингом и направлением развития геостатистики [6]. Но в целом в области экологии много нечетких данных, что обуславливает повышенное внимание к пространственному анализу.

Пространственный анализ наиболее глубоко исследуют в геоинформатике, геологии и региональной экономике. Доминирующее значение занимает геоинформатика как наиболее молодая наука и как интегратор многих наук о Земле [7]. Основой пространственного анализа в геоинформатике являются пространственные отношения. Пространственные отношения применяются не только в геоинформатике и экологии, но и в региональной и пространственной экономике [8, 9]. Пространственные отношения исследуются в области искусственного интеллекта [10] и в геоинформатике [11, 12]. Эта связь развивается в статье Энтони Гэлтона [10].

Пространственные отношения отражают отношения пространственных объектов в реальном пространстве. Пространственные отношения в реальном мире тесно связаны с экономическими [9] и служат основой для экономических расчетов и установления прав на объекты недвижимости и земельные участки. Пространственные отношения проявляются в четырех формах: иерархические, топологические, геореференчные и геостатистические.

Самым распространенным типом пространственных отношений при изучении пространственных объектов является иерархический тип, описывающий отношения между элементами, множествами и частями объектов. Иерархические отношения образуют древовидную структуру. К ним относятся отношения, которые обозначают [13]: ISA, AKO.

Особенности пространственных отношений в экологии. Иерархические пространственные отношения ярко проявляются в экологии. В этой сфере имеет место четкая иерархия пространственных объектов, которая используется при управлении окружающей средой, в государственном управлении природными ресурсами. В работе [13] приведены подробные описания пространственных отношений и таблицы, одна из которых приведена ниже как таблица 1. Для характеристик таблицы 1 применяется следующий синтаксис:

R1 , SRel R2

SRel – идентификатор пространственного отношения; R1 – первый объект отношения (первый коррелят); R2 – второй объект отношения (второй коррелят). Элементы отношения могут быть коррелятами и могут не быть ими. В этой таблице отношения (R1 , ANC R2 ) и ( R1 , AC R2 ) показывают отсутствие или наличие связи между объектами R1 , R2.

Отношение классификации ISA происходит от английского "is a". Говорят, что множество (класс) классифицирует свои экземпляры (например, "улица есть часть городской территории"). Иногда это отношение именуют "member of". По-русски это может называться «есть» (единственное число) или «суть» (множественное число). Связь ISA предполагает, что свойства объекта наследуются от множества.

Таблица 1

Основные пространственные отношения [13, 14]

Отношения	Обозначение	Значение
Отношение отсутствия связи	R1 , ANC R2	R1 and R2 are not connected. R1 и R2 не связаны.
Отношение связи	R1 , AC R2	R1 and R2 are connected. R1 и R2 связаны.
Иерархическое отношение классификации «есть часть», «один ко многим» множество (класс) классифицирует свои экземпляры	R1 , ISA R2	R1 is part of R2. Свойства объекта (экземпляра) R1 наследуются от множества (класса) R2
Иерархическое отношение агрегации «есть экземпляр» «один ко многим»	R1 , EXO R2	R1 example of R2 Объект R1 есть экземпляр объекта R2 R1 есть элемент системы R2
Иерархическое отношение классификации «есть часть», «многое к многим» Подмножество есть часть множества	R1 , AKO R2	R1 a kind of" R2. Подмножество R1 есть часть множества R2 свойства подмножества R1 наследуются от множества R2
Иерархическое отношение агрегации, «отношение меронимии» – отношение целого к части	R1 , HPA R2	R1 has part R2 R1 имеет в качестве части R2
Иерархическое отношение агрегации, «отношение холонимии» – отношение части к целому	R1 , IPA R2	R1 is a part R2 R1 является частью R2

Обратное отношение для ISA – “example of” или «пример». Поэтому процесс порождения элементов из множества называется экземпляцией. Отношение между множеством и подмножеством АКО происходит от английского “a kind of”, например, «городские районы есть подмножество городской территории». Отличие АКО от отношения ISA заключается в том, что ISA – отношение «один ко многим», а АКО отношение – «многое к многим».

Применяя иерархические типы отношений, следует различать, какие объекты являются классами, а какие – экземплярами классов. Наличие отношения классификации служит основой для ее создания. Исключения составляют те случаи, когда классификация уже создана.

Пространственный объект можно рассматривать как сложную систему, которая состоит из нескольких частей, или элементов. Например, город включает улицы, площади, дома, объекты инфраструктуры, инженерные сооружения и т. д. Это определяет еще один тип отношения – Отношение целого и части. Отношение меронимии – отношение целого к части (“has part”). Мероним – объект, включающий другого объекта как часть. «Город включает городские районы. Городская территория включает улицы».

Отношение холонимии – отношение части к целому (“is a part”). «Улица часть городской территории». Улица – холоним для городской территории. Городская территория – мероним для улицы.

Геореференционные отношения [15] представляют собой специфический инструмент пространственного поиска, получения знаний и как результат инструмент поддержки принятия решений. Геореференция отражает связи между пространственно локализованными объектами и информацией об этих объектах. В сферу геореференции входят, в частности, зависимости между любой информацией (например, документами, картами, изображениями, биографической информацией) и географической локализацией с помощью местонаименований [16], кодов места (например, почтовые коды), координат и других методов, описывающих пространственные связи и отношения. Существуют специальные справочники географических названий и так называемые газеттиры, которые отражают отношение геореференций.

Геостатистические пространственные отношения – отношения выявляемые методами геостатистики [6, 17]. Развитием и применением методов геостатистики занимаются: экологи, инженеры-нефтяники, гидрологи, почвоведы, геологи, а также статистики. В теоретическом плане геостатистику можно рассматривать как методологию для интерполяции пространственно локализованных данных на нерегулярной сетке [18]. Ряд методов интерполяции и обработки таких данных были хорошо известны, когда геостати-

стику стали применять. Например, метод обратного взвешивания и анализа, алгоритм (метод) ближайшего соседа и др.

Геостатистика концентрируется, прежде всего, на пространственных данных. То есть, каждое значение исследуемых данных связано с локализацией в пространстве. Существует, по крайней мере, одна связь (одномерная связь) между расположением и значением данных.

Локализация в геостатистике имеет, по крайней мере два значения, одно это просто положение точки в пространстве (которое существует только в абстрактном математическом смысле) и, во-вторых, площадь или объем в пространстве. Геостатистические отношения – это отношения между геостатистической локализацией и значением некоего параметра в пространстве. Для данной точки пространства это может быть концентрация вредных веществ, содержание металла в руде и так далее. Но значение этих величин зависят от пространственных координат. Например, значение локализованных данных, связанных с областью может быть среднее значение наблюдаемой величины, среднее значение на площадь области, значение на объем области. В последнем случае площадь или объем часто называют «поддержкой» данных. Это тесно связано с идеей поддержки измерений.

Пространственные отношения позволяют решать важную задачу – оценки экологической емкости территории [18]. На практике применяют иной термин – экологический ресурс территории. Эти термины являются синонимами.

Комплексная оценка территорий экологической емкости территорий включает следующие этапы [18]:

Определение основных источников загрязнения природной среды

Формирование геоданных для данной ситуации

Мониторинг природной системы по компонентам системы (подсистемам)

Анализ пространственных отношений источников загрязнения и окружающих объектов.

Расчет экологического ущерба с использованием пространственных отношений

Расчет экологического ущерба по прогнозной методике

Моделирование воздействия по пространственно-временной модели

Визуальное представление пространственно-временной модели, построенной на основе полученных данных с целью выявления областей наложения воздействия

Определение и вычисление площадей ареалов различных видов антропогенного воздействия

Расчет экологических рисков при планировании новых производств

Определение экологического ресурса территории

Принятие решений с целью исключения негативных воздействий

Создание ареалов гашения («зеленых» поясов климатического вида растительности) между поселениями различных типов.

Как видно из представленной схемы, пространственные отношения играют доминирующую роль в оценке экологического ресурса и прогнозировании развития экологической ситуации.

### Заключение

Пространственные отношения определяются на основе геоинформации и геоданных. Геоинформация и геоданные являются основой анализа пространственных отношений. Гео-

данные, цифровые модели и карты являются универсальным средством моделирования и анализа экологических процессов. Формализованное описание пространственных отношений позволяет автоматизировать анализ и принятие решений в области экологии. В целом пространственные отношения в экологических исследованиях служат основой анализа и оценки экологической ситуации. Для оценки экологической ситуации обязательным является использование пространственной информации с учетом пространственных отношений. Основой описания пространственных отношений служат геоданные, которые позволяют создавать информационную общность систем экологических данных и систем обработки при экологическом моделировании [20].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов А. В. Прикладная экология и экономика природопользования. Ростов н/Д: Феникс, 2007.
2. Андросова Н. К. Геолого-экологические исследования и картографирование. (Геологическое картирование). – М.: Изд-во Рос. ун-та дружбы народов, 2000.
3. Реймерс Н. Ф. Экология: теория, законы, правила, принципы и гипотезы. – Россия молодая, 1994.
4. Цветков В.Я. Информационный подход в научных исследованиях. Учебное пособие. М.: МАКС Пресс, 2016. 92 с.
5. Worterbuch der Okologie. / 4 Auflage. – Spektrum Akademische Verlag GmbH Heidelberg – Berlin, 2003. 452 s.
6. Цветков В.Я. Геоэкология // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2007. № 3. С. 174-184.
7. Иванников А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Прикладная геоинформатика. М.: МаксПресс, 2005. 360 с.
8. Spatial Economics Edited by Masahisa Fujita, President, Research Institute of Economy, Trade and Industry, Professor, Konan University and Professor, Kyoto University, Japan, 2005. 904 pp.
9. Цветков В.Я. О пространственных и экономических отношениях // Международный журнал экспериментального образования. 2013. № 3. С. 115-117.
10. Antony Galton. Spatial and temporal knowledge representation // Earth Science Informatics, September, 2009, Volume 2, Issue 3, pp. 169-187.
11. Цветков В.Я. Пространственные отношения в геоинформатике // Международный научно-технический и производственный журнал «Науки о Земле». 2012. № 1. С. 59-61.
12. Цветков В.Я. Виды пространственных отношений // Успехи современного естествознания. 2013. № 5. С. 138-140.
13. Кулагин В.П., Цветков В.Я. Геоэкология: представление и лингвистические аспекты // Информационные технологии. 2013. № 12. С. 2-9.
14. Цветков В.Я. Формирование пространственных знаний: Монография. М.: МАКС Пресс, 2015. 68 с.
15. Moritz T. Geo-referencing the natural and cultural world, past and present: Towards building a distributed, peer-reviewed gazetteer system // Digital Gazetteer Information Exchange Workshop. Smithsonian Institute, October 12–14, 1999.
16. Paul Getty Trust Getty Thesaurus of Geographic Names Online: Place Type Looking, 2004. [http://www.getty.edu/research/conducting\\_research/vocabularies/tgn/](http://www.getty.edu/research/conducting_research/vocabularies/tgn/) дата доступа 16.02.2016.
17. Кужелев П.Д. О применении геоэкологии в науках о Земле // Международный научно-технический и производственный журнал «Науки о Земле». 2012. № 4. С. 77-81.
18. Pichler G. Computer-Programme der Geostatistik. Master's Thesis. Institut für Statistik, Technische Universität, Graz, Austria, 1982.
19. Мусихина Е.А. Методологический аспект технологии комплексной оценки экологической емкости территорий. – М.: Издательство «Академия Естествознания», 2009.
20. Семевский Ф.Н., Семенов С.М. Математическое моделирование экологических процессов. –М.: Гидрометеоздат, 1982.

#### Информация об авторе

**Бахарева Наталья Александровна**

(Россия, Москва)

Заместитель декана Факультета экономики и управления территориями

Московский государственный университет геодезии и картографии

E-mail: cvdisser@list.ru

#### Information about the author

**Bakhareva Natalia Alexandrovna**

(Russia, Moscow)

Deputy Dean of the Faculty of Economics and Management areas

Moscow State University of Geodesy and Cartography

E-mail: cvdisser@list.ru