

DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-452-461

## INFORMATION TECHNOLOGY OF GEOCHRONOLOGICAL TRACKING FOR HYPOTHESES TESTING IN RESEARCH OF SHIP USE

**Y. A. Ivakin, S. N. Potapichev**

St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences,  
St. Petersburg, Russian Federation

*Information technology of the geochronological tracking is an assembly of processes that accumulate and integrate data about geographic relocation of historical figures for a given time interval and represent the results as a generalizing graph in GIS. From the viewpoint of its applied aspect, this information technology is scientific methodological and program tools to automatize certain issues related to biographical and geographical data merge on the basis of geoinformation systems and corresponding geoinformation technologies. It is an example of a specific information technology developed to help employing geographical interpretation of their subject domain when solving research problems. The methodology bases on the object-oriented approach to modeling within GIS domains and ontologies widely used in modern programming and complex software systems development. Hypotheses on the stable tendencies in migration could be represented as the above graph's sub-graphs. Such tendencies testing would be reduced to the search and evaluation of the statistical significance for the matching graphs' isomorphism. The novelty of the solution proposed is the principles of biographical and geographical data integration. The proposed paper deals with a consideration of qualitatively new possibilities of such an approach and the corresponding mathematic and algorithmic apparatus.*

*Keywords: geographic information systems, GIS — technologies for research; geochronological track and tracking; graphs' isomorphism; statistical hypotheses testing; GIS based interdisciplinary research.*

**For citation:**

Ivakin, Yan A., and Sergei N. Potapichev. "Information technology of geochronological tracking for hypotheses testing in research of ship use." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.2 (2018): 452–461. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-452-461.

УДК 681.1.003

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО ТРЕКИНГА ДЛЯ ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗ РЕТРОСПЕКТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

**Я. А. Ивакин, С. В. Потапычев**

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации  
Российской академии наук (СПИИРАН), Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Информационная технология геохронологического трекинга есть совокупность процессов накопления и интеграции данных о географическом перемещении в ретроспективе объектов (судов, кораблей и др.) или личностей за установленный период времени с представлением результатов в виде обобщающего графа в геоинформационной системе (ГИС). Эта информационная технология в прикладном аспекте представляет собой научно-методический и программный инструментальный для автоматизации определенного класса ретроспективно-исследовательских задач, связанного со слиянием биографических и географических данных на базе ГИС и соответствующих геоинформационных технологий. Она является примером узкоспециализированных ГИС-технологий, разрабатываемых в интересах специалистов, использующих географическую интерпретацию своей предметной области при решении исследовательских задач ретроспективного характера на морском транспорте. Основной методологической базой данной работы является объектно-ориентированный подход к моделированию в ГИС предметных областей на базе онтологий, широко применяющихся в современном программировании и разработке сложных программных систем. Гипотезы об устойчивых тенденциях в указанной миграции объектов (судов, кораблей и др.) или личностей за установленный период времени представимы*

как подграфы указанного графа. Проверка таких гипотез сводится к поиску и оценке статистической значимости изоморфизма соответствующих графов. Новизна предлагаемых решений заключается в разработке принципов реализации интеграции биографической, пространственно-координатной и географической информации для исследовательской сферы научного знания. Рассмотрению качественно новых возможностей такого подхода и соответствующего математико-алгоритмического аппарата, а также перспектив их применения в сфере водного (прежде всего, морского) транспорта посвящена данная статья.

*Ключевые слова:* географические информационные системы, ГИС-технологии для ретроспективных исследований, геохронологический трек и трекинг, изоморфизм графов, проверка статистических гипотез, междисциплинарные исследования на базе ГИС.

**Для цитирования:**

Ивакин Я. А. Информационная технология геохронологического трекинга для проверки гипотез ретроспективных исследований использования водного транспорта / Я. А. Ивакин, С. В. Потапычев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 2. — С. 452–461. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-452-461.

### **Введение (Introduction)**

В работах [1] – [3] представлена и детально описана специализированная информационная технология геохронологического трекинга, которая представляет собой совокупность методов, моделей, приемов, методик и способов сбора, передачи, обработки, отображения и выдачи потребителю информации об обобщении геохронологических треков объектов (кораблей, судов и др.) или личностей. В свою очередь, построение геохронологического трека исторической личности (индивида) или исторического объекта на основании геопространственной интерпретации его биографической информации есть интеграция хронологических и географических данных в виде графа, соединяющего географические точки нахождения указанных объектов или личности. При этом вершины такого графа имеют строгую ретроспективно-географическую привязку, а дуги носят условно-логический характер.

Проведенные апробации и моделирование геохронологического трекинга показали, что итоговый граф для представительной выборки индивидов может иметь сложную и высокосвязную (и даже полносвязную) структуру. Этот факт позволяет рассматривать итоговый граф геохронологического трекинга как основу для исследования различных миграционных процессов, выявления некоторых частных закономерностей в перемещении объектов, личностей или социальных групп, а также проверять статистические гипотезы о характере перемещений. Представительность выборки объектов или личностей, принятой для геохронологического трекинга, определяет статистическую устойчивость получаемых выводов.

Одним из направлений создания научно-методического инструментария, поддерживающего указанные исследования, является широкое применение и компьютерная интерпретация методов теории графов на базе геохронологического трекинга, в частности алгоритмов поиска изоморфизма графов (распознавания изоморфного вложения подграфа в более сложный граф). Предметная интерпретация этих методов в предметной области исследований исторической информатики открывает широкие возможности для анализа различных сетевых структур, и прежде всего, геохронологических треков.

Полнофункциональное развитие компьютерной интерпретации методов теории графов на базе геохронологического трекинга способно обеспечить новое качество ретроспективных исследований объектов водного транспорта с использованием современного ГИС-инструментария. Оно выражается в предоставлении возможности исследователю использовать количественные методы соответствующего логико-аналитического аппарата в своей предметной области. Детализация указанных возможностей с раскрытием существа соответствующих математических и алгоритмических решений, а также описание новых путей их применения в современных логистических исследованиях является предметом рассмотрения данной статьи.

## Методы и материалы (Methods and materials)

*Оценка статистической значимости принятия гипотез на базе геохронологического трекинга.* Выявление фактов ретроспективных географических процессов как устойчивых структурных вложений в структуре соответствующего геохронологического трека обладает очевидными характеристиками риска принятия решения об их наличии. Иными словами, может быть оценена доверительная вероятность в заключении об установлении того или иного факта.

Первоначальное множество исторических объектов или личностей, принятое для геохронологического трекинга, рассматривается как генеральная совокупность в математическом аппарате проверки статистических гипотез. Выборка числа индивидов, подтвердивших своими перемещениями в географическом пространстве соответствующую гипотезу-подграф, определяет статистическую устойчивость получаемых выводов исследования. Проверка корректности принятия той или иной гипотезы сводится к оценке статистической значимости вывода о выделении соответствующего изоморфного подграфа в составе геохронологического трека по указанной выборке из генеральной совокупности. При этом задается уровень значимости (риска принятия неправильной гипотезы) как вероятности, обратной к доверительной вероятности принятия правильного решения  $p$ , т. е.

$$p = 1 - \alpha. \quad (1)$$

Анализ значимости числа индивидов, подтвердивших своими перемещениями в географическом пространстве соответствующую гипотезу-подграф в сравнении с общим числом индивидов, учтенном при геохронологическом трекинге, может быть проведен путем использования методики статистических сравнений, изложенной в [4]. При этом анализируется статистическое отличие разницы  $\Delta_r$  между указанными числами от нуля. Такой анализ значимости, как правило, проводится за семь логических шагов.

Шаг 1. Выдвигается две статистических гипотезы:

$$\left. \begin{array}{l} H_0 : \Delta_r = 0 - \text{незначимо;} \\ H_1 : \Delta_r > 0 - \text{значимо,} \end{array} \right\} \quad (2)$$

где  $H_0$  — гипотеза, что полученное значение  $\Delta_r$  статистически незначимо (нет статистически достаточного числа индивидов для выделения искомого подграфа в составе геохронологического трека);  $H_1$  — гипотеза, что полученное  $\Delta_r$  статистически значимо (количество индивидов, подтверждающих своими перемещениями искомый подграф в составе геохронологического трека, статистически значимо и достаточно для его выделения).

Шаг 2. Поскольку результаты  $\Delta_r$  получены по выборке числа индивидов, подтвердивших своими перемещениями в географическом пространстве соответствующую гипотезу-подграф, то размерность этой выборке принимается за число испытаний  $n$ .

Шаг 3. Принимается уровень значимости  $\alpha$  — например, равным 0,05. Тогда доверительная вероятность принятия исследовательской гипотезы, согласно (1), будет 0,95.

Шаг 4. Осуществляется выбор тестовой статистики из табулированных вариантов. Этот выбор определяется размером выборки числа индивидов, подтвердивших своими перемещениями в географическом пространстве соответствующую гипотезу-подграф. Если размерность генеральной совокупности и выборки обеспечивают выполнение статистического закона больших чисел, то в качестве тестовой статистики могут быть приняты величины, имеющие широко известные распределения (например, распределение  $\chi^2$ ). Для малых (в статистическом понимании) выборок в качестве тестовой статистики традиционно принимаются величины, имеющие  $t$ -распределение Стьюдента с  $(n - 1)$  степенями свободы.

Шаг 5. Производится определение области принятия статистической гипотезы. Для этого из соответствующих таблиц (базы данных) выбирается критическое значение тестовой статистики  $t_{np}$  при принятом уровне значимости  $\alpha$ , что, согласно (1), определяет доверительную вероятность  $\gamma$ .

Шаг 6. Формируется итоговое математическое правило проверки статистической гипотезы:

$$\left. \begin{aligned} H_0 : t \leq t_{\text{пр}}; \\ H_1 : t > t_{\text{пр}}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Шаг 7. Выполнение проверки в соответствии с правилом (3) путем расчета текущего значения тестовой статистики  $t$ . Формулирование вывода: при выполнении условия  $H_1$  из правила (3) значение  $\Delta_r$  следует считать значимым при уровне доверия  $\gamma$ .

Таким образом, предлагаемая методика оценки статистической значимости принятия гипотез позволяет ввести вероятностную меру степени доверия к принимаемым исследовательским решениям по интерпретации соответствующих подграфов геохронологического трека.

**Представление проверки исследовательских гипотез в виде задачи распознавания изоморфного вложения графа.** Результатом реализации функциональности программного компонента «Геохронологический трекинг» является географическая карта, на которую наносится граф, обобщающий геохронологические треки индивидов, данные о перемещениях которых занесены в базу данных [1]. Пример такой реализации показан на рис. 1. Указанный граф далее рассматривается как базовый, в рамках которого определяется подграф, изоморфный заданному. При этом изоморфизм графов понимается как отношение эквивалентности на множестве графов. Изоморфным отображением одного графа на другой называется взаимно однозначное отображение вершин и рёбер одного графа соответственно на вершины и рёбра другого графа, при котором сохраняется отношение инцидентности. Два графа называются *изоморфными*, если существует изоморфное отображение одного из этих графов на другой [4]. *Инцидентность* — геометрический термин, употребляемый для обозначения отношения принадлежности (связи, соединения) основных объектов геометрии (точки, прямые, плоскости и т. д.) [5].

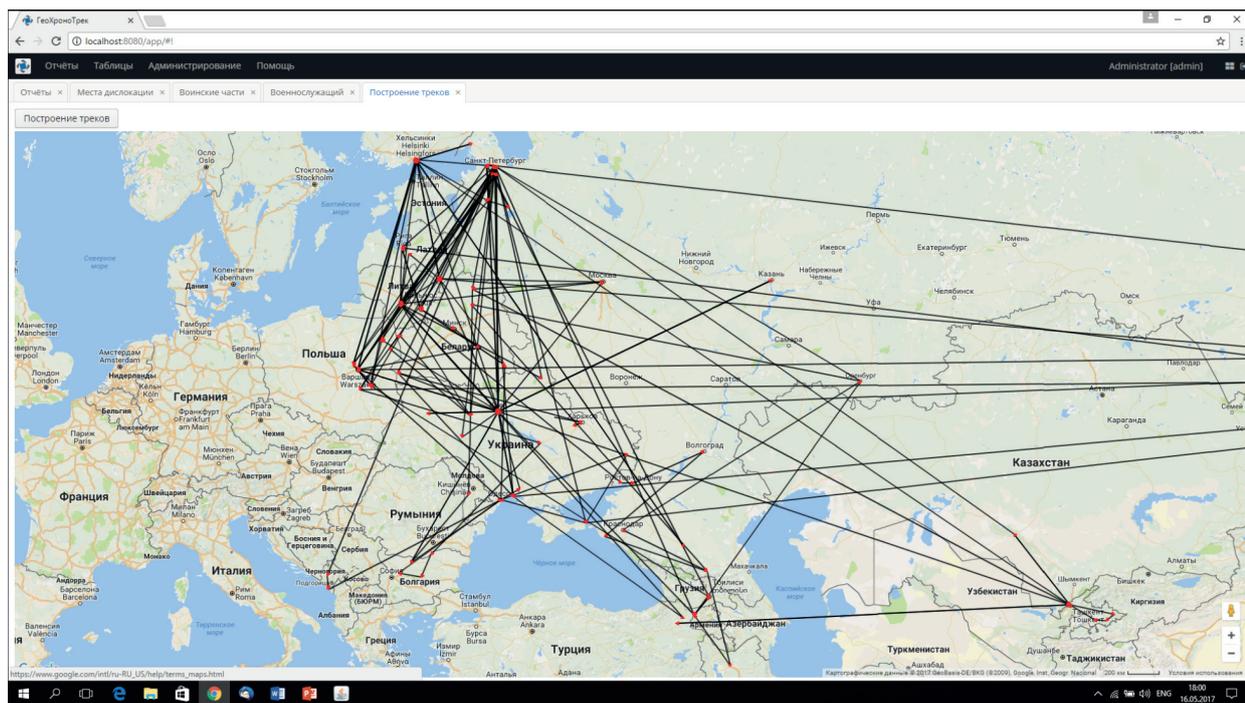


Рис. 1. Пример реализации геохронологического трекинга в ГИС

Граф на изоморфность, к которому определяется подграф в составе базового графа геохронологического трекинга, графически задает соответствующую гипотезу исследования о миграции (перемещениях в географическом пространстве). Например, пусть выдвигается следующая гипотеза: *типовыми (традиционными, наиболее частыми) назначениями (перемещениями по местам прохождения службы) выпускников Санкт-Петербургского морского кадетского корпуса в период с 1870 по 1910 гг. в чинах младших офицеров были назначения либо в штабы флотов, либо в соответствующие крупные корабельные соединения этих флотов. В дальнейшем при переводах штабная или корабельная специализация сохранялась. Допускались назначения из подчиненных корабельных соединений в соответствующие штабы флотов.*

Если в указанный период штабы флотов Российской империи располагались:

- в Санкт-Петербурге — Балтийский флот;
- в Севастополе — Черноморский флот;
- в Порт-Артуре — Тихоокеанский флот,

а местами базирования крупных корабельных соединений для соответствующих флотов были соответственно:

- Гельсингфорс;
- Новороссийск;
- Владивосток,

то интерпретация приведенной гипотезы как ненаправленного графа примет вид, показанный на рис. 2.

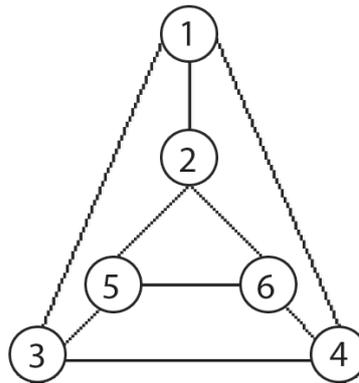


Рис. 2. Пример графа, представляющего исследовательскую гипотезу:  
1 — Санкт-Петербург; 2 — Гельсингфорс; 3 — Севастополь;  
4 — Порт Артур; 5 — Новороссийск; 6 — Владивосток

Проведенная апробация предлагаемого аналитического аппарата представления и проверки исследовательских гипотез как изоморфного вложения в составе геохронологического трека показала, что графы, описывающие миграционные процессы, могут иметь разнообразную и весьма сложную форму. Так, на рис. 3 приведены некоторые примеры графов, описывающих различные гипотезы — подграфов геохронологического трекинга. В целом этот рисунок позволяет оценить структурную сложность и вариабельность представительских гипотез в виде графов.

Задача распознавания изоморфизма графов является центральной комбинаторной задачей теории графов и имеет корректную интерпретацию в предметной области исторического исследования. На сегодняшний день, согласно [6] – [8], разработан целый ряд эффективных алгоритмов распознавания в составе сложного графа, каким является реальный обобщающий геохронологический трек (рис. 4) подграфа, изоморфного заданному.

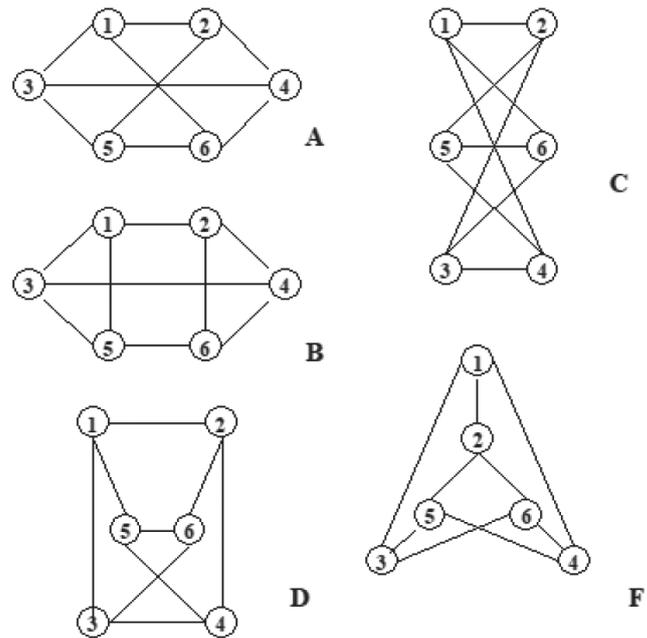


Рис. 3. Варианты графов, описывающих различные гипотезы

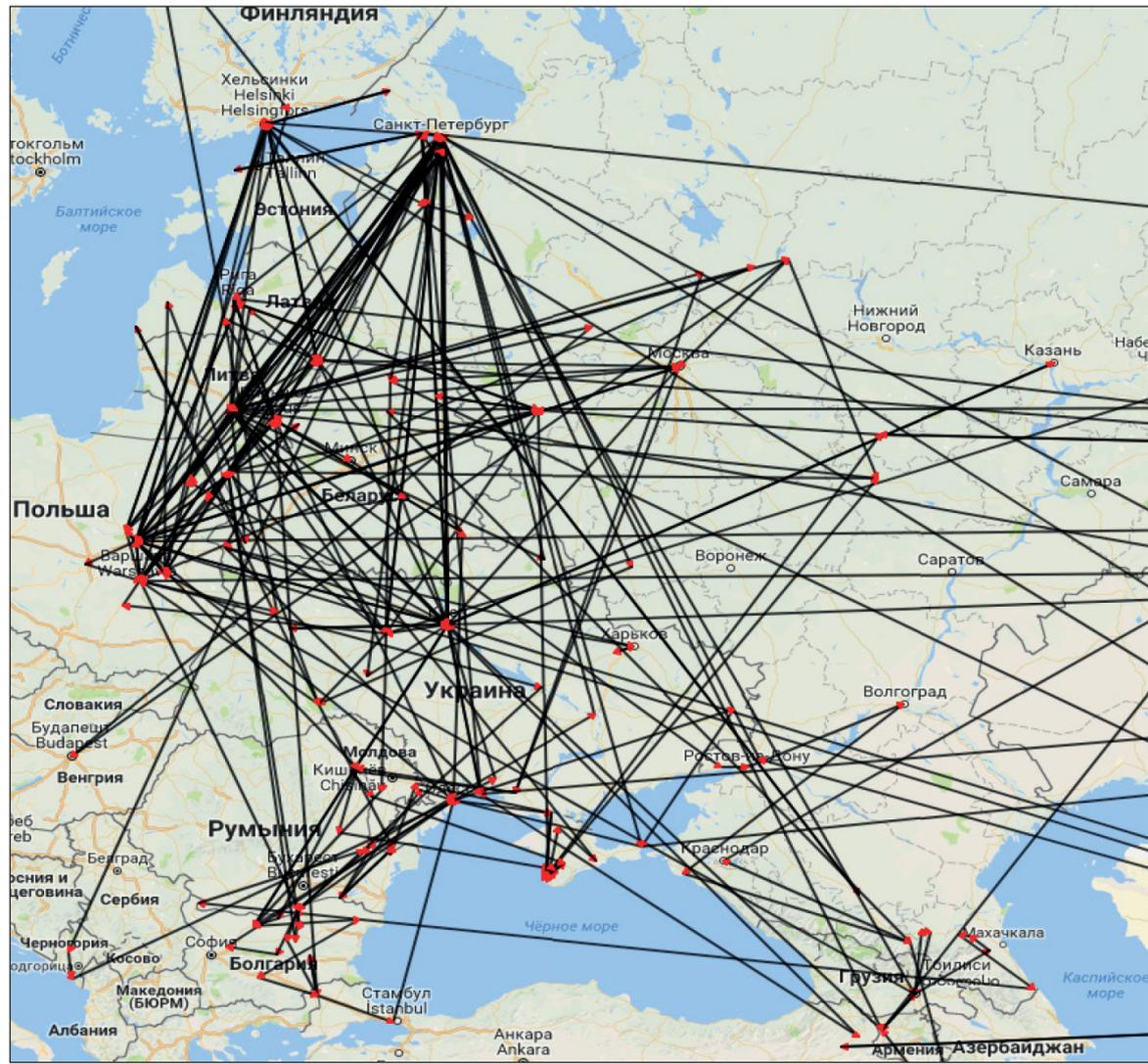


Рис. 4. Геохронологический трек из апробационного исследовательского примера

При этом условно выделяют две основные группы алгоритмов реализации указанного распознавания. Первая группа связана с реализацией принципа иерархического построения непереборных алгоритмов, рекурсивно улучшающих свою эффективность в смысле полноты (чувствительности) используемых характеристик вершин и / или ребер, инвариантных относительно изоморфизма графов и называемых инвариантами. Вторая группа алгоритмов связана с реализацией того же принципа иерархического построения алгоритмов на базе обязательной процедуры перебора на одном из этапов поиска изоморфной подстановки. Худшие характеристики имеют алгоритмы, использующие метод полного прямого перебора, они применимы лишь к геохронологическим трекам ограниченной размерности. В целом само решение задачи изоморфного вложения подграфа в состав графа геохронологического трека в программно-алгоритмическом плане является тривиальным и описано в работах [9] – [12].

Таким образом, представление проверки ретроспективных исследовательских гипотез в виде задачи распознавания (поиска) соответствующего изоморфного подграфа позволяет обнаружить и распознать устойчивые структурные вложения в составе соответствующего геохронологического трека из перечня (базы) заранее определённых структур. Иными словами, это представление может быть применено для автоматизированного поиска устойчивых факторов миграционных процессов, специфики перемещений судов или отдельных групп исторических личностей, неочевидных фактов кадровой политики и др., структура которых заранее известна и описана в виде графов в соответствующей базе данных.

Проведенный анализ применимости предлагаемого метода показал, что использование геохронологического трекинга на базе специализированной ГИС для выявления устойчивых факторов историографического характера позволяет добиться сокращения временных затрат в три-четыре раза, а также ввести количественной меры степени доверия к формулируемым выводам.

### **Заключение (Conclusion)**

Применение компьютерной интерпретации методов теории графов на базе геохронологического трекинга в ходе ретроспективных исследований применения отдельных объектов водного транспорта открывает новые горизонты для применения современных математико-аналитических методов в сфере логистического знания. Перспективными направлениями развития количественных методов в исследованиях данного класса применительно к геохронологическому трекингу является внедрение в соответствующее математическое и программное обеспечение ГИС приложений «мягких» вычислений, аппарата фракталов, методов современной математической топологии, математической теории вероятностей, теории возможностей и др. Внедрение указанных методов и математического аппарата решения исследовательских задач в ГИС является востребованным и рассмотрено в ряде работ, примеры которых приведены в [13] – [17].

Разработка и обоснование конкретизированных интерпретаций указанных методов в предметной области исторических исследований, синтез математических и алгоритмических моделей решения конкретных исследовательских задач составляет суть дальнейших работ и исследований по информационной технологии геохронологического трекинга в ГИС. Вместе с тем уже сегодня можно констатировать широкую перспективу и прикладную применимость данного подхода к развитию программно-информационных инструментов для логистических исследований ретроспективного характера.

Предложенный метод, несомненно, найдет применение в прикладных исследованиях, проводимых в интересах водного (прежде всего, морского) транспорта, поскольку очевидна его широкая применимость для анализа вопросов результативности круиза экипажей морских судов,

эффективности фрахта кораблей и решения других классов логистических задач современного водного транспорта.

*Поддержка исследований. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 16-07-00127), а также Государственной работы — Проведение фундаментальных научных исследований по программам РАН № 0073-2018-0003.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ивакин Я. А.* Развитие информационной технологии геохронологического трекинга для исторических исследований в ГИС / Я. А. Ивакин, С. Н. Потапычев // Историческая информатика. — 2017. — № 2. — С. 85–94. DOI: 10.7256/2585-7797.2017.2.23083.
2. Интеллектуальные географические информационные системы для мониторинга морской обстановки / под общ. ред. чл.-кор. РАН Р. М. Юсупова и д-ра техн. наук В. В. Поповича. — СПб.: Наука, 2013. — 284 с.
3. *Ивакин Я. А.* Геохронологический трекинг — специализированный ГИС-инструментарий исторического исследования / Я. А. Ивакин, С. Н. Потапычев // Историческая информатика. Информационные технологии и математические методы в исторических исследованиях и образовании. — 2016. — № 1–2 (15–16). — С. 3–11.
4. *Зыков А. А.* Основы теории графов / А. А. Зыков. — М.: Вузовская книга, 2004. — 664 с.
5. *Нечепуренко М. И.* Алгоритмы и программы решения задач на графах и сетях / М. И. Нечепуренко, В. К. Попков, С. М. Майнагашев [и др.]. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1990. — 515 с.
6. *Кочура А. Е.* Сингулярные матричные пучки в обобщенной симметричной проблеме собственных значений / А. Е. Кочура, Л. В. Подколызина, Я. А. Ивакин, И. И. Нидзиев // Труды СПИИРАН. — 2013. — № 3 (26). — С. 253–276.
7. *Крон Г.* Исследование сложных систем по частям — диакоптика / Г. Крон. — М.: Наука, 1972. — 544 с.
8. *ДеМарко Т.* Вальсируя с медведями. Управление рисками в проектах по разработке программного обеспечения / Т. ДеМарко, Т. Листер. — М.: Изд. дом ДН, 2005. — 196 с.
9. Интеллектуальные географические информационные системы для мониторинга морской обстановки / под ред. Р. М. Юсупова и В. В. Поповича. — СПб.: Наука, 2013. — 284 с.
10. *Попович В. В.* Системы мониторинга на основе ИГИС / В. В. Попович, П. Н. Волгин, В. И. Гучек, В. И. Ермолаев // Оборонный заказ. — 2012. — № 2 (21). — С. 58–61.
11. *Ермолаев В. И.* Использование геопространственных данных при управлении морской распределенной системой наблюдения / В. И. Ермолаев // Материалы конф. «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2014). — СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ» Электроприбор», 2014. — С. 270–279.
12. Введение в эргономику / под ред. В. П. Зинченко. — М.: Сов. радио, 1974. — 352 с.
13. *Мирошник И. В.* Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами / И. В. Мирошник, В. О. Никифоров, А. Л. Фрадков. — СПб.: Наука, 2000. — 549 с.
14. *Ивакин Я. А.* Обеспечение эффективности геоинформационных систем управления пространственными процессами / Я. А. Ивакин, А. М. Муся // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Системы и средства отображения информации и управления спецтехникой. — 2015. — № 1. — С. 151–159.
15. *Цветков М. В.* Использование интеллектуальной географической информационной системы для выявления опасных ситуаций, связанных с безопасностью судоходства по северному морскому пути / М. В. Цветков, Д. О. Малышева // Информационные технологии в управлении (ИТУ-2016): матер. 9-й конф. по проблемам управления. — СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ» Электроприбор». — С. 465–475.
16. *Ermolaev V.* Geoinformational Support of Search-Efforts Distribution Under Changing Environmental Conditions / V. Ermolaev, S. Potapichev // Information Fusion and Intelligent Geographic Information Systems (IF&IGIS'17). — Springer, Cham, 2018. — Pp. 153–164. DOI: 10.1007/978-3-319-59539-9\_12.
17. *Ivakin Y. A.* Aggregate indices method for choice of danger prevention strategy in gis-based monitoring system / Y. A. Ivakin, M. V. Tsvetkov // 15th International Multidisciplinary Scientific Gtoconference SGEM2015, Albena, Bulgaria, 18-24.06.2015. — Pp. 441–450.

## REFERENCES

1. Ivakin, Yan Al'bertovich, and Sergei Nikolaevich Potapychev. "Razvitie informatsionnoi tekhnologii geokhronologicheskogo trekinga dlya istoricheskikh issledovaniy v GIS." *Istoricheskaya informatika* 2 (2017): 85–94. DOI: 10.7256/2585-7797.2017.2.23083.
2. Yusupov, R.M., and V.V. Popovich. *Intellektual'nye geograficheskie informatsionnye sistemy dlya monitoringa morskoi obstanovki*. SPb: Nauka, 2013.
3. Ivakin, Yan A., and Sergey N. Potapichev. "Geochronology tracking — specialized GIS-tool for history researches." *Istoricheskaya informatika. Informatsionnye tekhnologii i matematicheskie metody v istoricheskikh issledovaniyakh i obrazovanii* 1-2 (15-16) (2016): 3–11.
4. Zykov, A.A. *Osnovy teorii grafov*. M: Vuzovskaya kniga, 2004.
5. Nechepurenko, M. I., V. K. Popkov, S. M. Mainagashev, S. B. Kaul', V. A. Proskuryakov, V. A. Kokhov, and A. B. Gryzunov. *Algoritmy i programmy resheniya zadach na grafakh i setyakh*. Novosibirsk: Nauka. Sib. otdnie, 1990.
6. Kochura, Alexander Eugeniyeovich, Ludmila Victorovna Podkolzina, Yan Albertovich Ivakin, and Ivan Ivanovich Nidziev. "Singular matrix bundles in a generalized symmetric problem of eigenvalues." *SPIIRAS Proceedings* 3(26) (2013): 253–276.
7. Kron, G. *Issledovanie slozhnykh sistem po chastyam – diakoptika*. M.: Nauka, 1972.
8. DeMarko, T., and T. Lister. *Val'siruya s medvedyami. Upravlenie riskami v proektakh po razrabotke programmnogo obespecheniya*. M.: Izdatel'skii dom DH, 2005.
9. Yusupov, R.M., and V.V. Popovich, eds. *Intellektual'nye geograficheskie informatsionnye sistemy dlya monitoringa morskoi obstanovki*. SPb.: Nauka, 2013.
10. Popovich, V.V., P.N. Volgin, V.I. Guchek, and V.I. Ermolaev. "Sistemy monitoringa na osnove IGIS." *Oboronnyi zakaz* 2(21) (2012): 58–61.
11. Ermolaev, V.I. "Ispol'zovanie geoprostranstvennykh dannykh pri upravlenii morskoi raspredelennoi sistemoi nablyudeniya." *Materialy konferentsii «Informatsionnye tekhnologii v upravlenii» (ITU-2014)*. SPb.: OAO «Kontsern «TsNII» Elektropribor», 2014. 270–279.
12. Zinchenko, V.P. *Vvedenie v ergonomiku*. M.: Sovetskoe radio, 1974.
13. Miroshnik, I.V., V.O. Nikiforov, and A.L. Fradkov. *Nelineinoe i adaptivnoe upravlenie slozhnymi dinamicheskimi sistemami*. SPb.: Izd-vo Nauka, 2000.
14. Ivakin, Ya.A., and A.M. Musya. "Obespechenie effektivnosti geoinformatsionnykh sistem upravleniya prostranstvennymi protsessami." *Voprosy radioelektroniki. Seriya: Sistemy i sredstva otobrazheniya informatsii i upravleniya spetstekhniki* 1 (2015): 151–159.
15. Tsvetkov, M.V., and D.O. Malysheva. "Ispol'zovanie intellektual'noi geograficheskoi informatsionnoi sistemy dlya vyyavleniya opasnykh situatsii, svyazannykh s bezopasnost'yu sudokhodstva po severnomu morskому puti." *Informatsionnye tekhnologii v upravlenii (ITU-2016): Materialy 9-i konferentsii po problemam upravleniya*. SPb.: Kontsern "Tsentral'nyi nauchno-issledovatel'skii institut "Elektropribor". 465–475.
16. Ermolaev, Victor, and Sergey Potapichev. "Geoinformational Support of Search-Efforts Distribution Under Changing Environmental Conditions." *Information Fusion and Intelligent Geographic Information Systems (IF&IGIS'17)*. Springer, Cham, 2018. 153–164. DOI: 10.1007/978-3-319-59539-9\_12.
17. Ivakin, Y.A., and M.V. Tsvetkov. "Aggregate indices method for choice of danger prevention strategy in gis-based monitoring system." *15th International Multidisciplinary Scientific Gtoconference SGEM2015, Albena, Bulgaria, 18-24.06.2015*. 441–450.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Ивакин Ян Альбертович** —  
доктор технических наук, профессор, ведущий  
научный сотрудник  
Санкт-Петербургский институт информатики  
и автоматизации Российской академии наук  
(СПИИРАН)  
199178, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,  
14 линия В. О., д. 39  
e-mail: [ivakin@oogis.ru](mailto:ivakin@oogis.ru)

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Ivakin, Yan A.** —  
Dr. of Technical Sciences, professor,  
leading researcher  
St. Petersburg Institute for Informatics  
and Automation of the Russian Academy  
of Sciences  
39 14<sup>th</sup> liniya V. O., St. Petersburg, 199178,  
Russian Federation  
e-mail: [ivakin@oogis.ru](mailto:ivakin@oogis.ru)

**Потапычев Сергей Николаевич** —  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
Санкт-Петербургский институт информатики  
и автоматизации Российской академии наук  
(СПИИРАН)  
199178, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,  
14 линия В. О., д. 39  
e-mail: [potapychew@oogis.ru](mailto:potapychew@oogis.ru)

**Potapichev, Sergei N.** —  
PhD, senior researcher  
St. Petersburg Institute for Informatics  
and Automation of the Russian Academy  
of Sciences  
39 14<sup>th</sup> liniya V. O., St. Petersburg, 199178,  
Russian Federation  
e-mail: [potapychew@oogis.ru](mailto:potapychew@oogis.ru)

*Статья поступила в редакцию 16 марта 2018 г.  
Received: March 16, 2018.*