

УДК 528.94:[316.42:004.451]

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-2-63-74>

Модель распределенной обработки разнородных геопро пространственных данных на основе акторной сети с использованием технологии микросервисов

*С. А. Карин*¹✉

Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: sergey.karin@gmail.com

Аннотация. В статье предложена модель распределенной обработки разнородных геопро пространственных данных на основе акторной сети с использованием технологии микросервисов и сетей массового обслуживания. В основе предложенной модели лежит подход, в соответствии с которым обработка разнородных пространственных данных представляется в виде сетевого графа веб-сервисов, называемых акторами, при этом каждый актор является узлом обработки в сети массового обслуживания. В статье представлено обоснование выбранного подхода, а также с использованием разработанной модели предложен пример решения типовой задачи, связанной с обработкой разнородных пространственных данных. Основываясь на полученных результатах, делается вывод о том, что предложенная модель может служить основой для разработки систем интерактивного составления и выполнения целенаправленных рабочих процессов обработки разнородных данных с поддержкой обоснованного выбора задействованных акторов, мониторинга выполнения и валидации результатов, а также формулируются направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: обработка разнородных данных, микросервисная архитектура, сети массового обслуживания, пространственные данные, целенаправленные рабочие процессы

Для цитирования:

Карин С. А. Методы сбора и актуализации многомерных данных для целей создания геоинформационной системы доступности городской инфраструктуры. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 2. С. 63–74. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-2-63-74>

A distributed actor network model for processing heterogeneous geospatial data using microservices

*S. A. Karin*¹✉

¹ Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg, Russian Federation

e-mail: sergey.karin@gmail.com

Abstract. This paper proposes a model for the distributed processing of heterogeneous geospatial data, leveraging actor networks, microservices, and queuing networks. The model conceptualizes

heterogeneous spatial data processing as a network graph of web services called actors, where each actor functions as a node in a queuing network. The approach is justified, accompanied by a practical example demonstrating the model's application to a representative heterogeneous spatial data processing task. The results indicate that the model provides a foundation for developing systems that enable interactive composition and execution of targeted workflows for heterogeneous data processing. These systems support reasoned actor selection, execution monitoring, and result validation, with outlined directions for future research.

Keywords: processing of heterogeneous data, microservices architecture, queuing networks, spatial data, purpose-driven workflows

For citation:

Karin S. A. (2026) A distributed actor network model for processing heterogeneous geospatial data using microservices. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 2. pp. 63–74. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-2-63-74>

Введение

Геопространственные данные об окружающей среде (в число которых входят данные дистанционного зондирования Земли и результаты их обработки, данные экологического и метеорологического мониторинга и т. п.) часто хранятся и публикуются в различных региональных, национальных и глобальных репозиториях [1-4] и используются для проведения различных научных исследований и экспериментов, а также решения аналитическими органами в системе государственного и муниципального управления расчетно-информационных задач, связанных с мониторингом и прогнозированием потенциально-опасных процессов природного или техногенного характера (Концепция построения и развития аппаратно-программного комплекса «Безопасный город»: распоряжение Правительства Российской Федерации от 03.12.2014 № 2446-р. – URL: <https://static.mchs.gov.ru/uploads/document/19.09.2019/174757b288f39e0434ab86a0ce549bb7.pdf> – Текст : электронный).

В основе функционирования автоматизированных информационных систем, предназначенных для решения задач такого класса, лежит организация информационных потоков по сбору и обработке исходных данных для дальнейшего принятия решений по предотвращению или снижению ущерба на объектах мониторинга [5–10].

В качестве примера таких систем можно выделить программно-аппаратные комплексы «Безопасный город» [11–13], концепция построения и развития которых утвер-

ждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 03.12.2014 № 2446-р (ред. от 05.04.2019) (Концепция построения и развития аппаратно-программного комплекса «Безопасный город»: распоряжение Правительства Российской Федерации от 03.12.2014 № 2446-р. – URL: <https://static.mchs.gov.ru/uploads/document/19.09.2019/174757b288f39e0434ab86a0ce549bb7.pdf> – Текст : электронный) и которые развернуты во многих регионах Российской Федерации, при этом спектр решаемых ими расчетно-информационных задач крайне широк – от простого контроля пороговых значений до сложного математического моделирования и системного анализа для принятия упреждающих мер. Примерами таких задач могут служить:

- прогнозирование погоды, наводнений, распространения лесных пожаров, лавинной опасности;
- оценка интенсивности и динамики развития ураганов, высоты выброса, направления и скорости распространения вулканического пепла;
- мониторинг целостности техногенных сооружений (мостов, плотин);
- прогнозирование развития аварий;
- оценка последствий и ущерба и т. п.

Сущность и особенности задач такого рода в процессе их декомпозиции на подзадачи требуют составления конвейеров (или цепочек) обработки исходных данных в некотором осмысленном порядке, при этом за расчеты, связанные с решением той или иной подзадачи, отвечает некоторый онлайн-сервис. В итоге, процедуры решения расчетно-

информационных задач можно рассматривать как некоторые целенаправленные рабочие процессы (ЦРП), которые в своем составе могут как иметь средства, позволяющие автоматизировать обработку, так и требовать ручного труда [14, 15].

Необходимо отметить, что решение многих типовых задач, примеры которых приведены выше, может быть осуществлено с использованием цепочек сервисов, каждый из которых по-разному реализует необходимые вычисления (например, более точное прогнозирование, но за более долгое время, требование более точных исходных данных и т. п.). Такие сервисы могут разрабатываться разными поставщиками и в будущем их число будет возрастать.

В этом смысле стоит задача не просто формирования конвейеров обработки данных в виде целенаправленных рабочих процессов, но и обоснованного выбора сервисов среди однотипных, осуществляющих те или иные расчеты.

В целом можно сказать, что аналитическая функциональность, позволяющая обрабатывать разнородные геопространственные данные большого объема в онлайн-режиме, имеет важное значение для моделирования окружающей среды. Поскольку доступны крупномасштабные распределенные репозитории геопространственных данных, повторное и совместное использование программного обеспечения, обрабатывающего эти данные, становится все более важным в интегрированном моделировании окружающей среды, научных экспериментах и анализе [13, 16, 17].

В настоящее время существует достаточное количество взаимодополняющих друг друга инструментов и интерфейсов, которые позволяют в той или иной мере реализовать распределенную обработку пространственных данных, в первую очередь это стандарты и спецификации OGC [18] и некоторые другие.

В частности, стандарт Web Processing Service (WPS) описывает способы публикации и обращения к отдельным сервисам обработки, однако не предоставляет инструментов для описания рабочих процессов (Open Geospatial Consortium : OGC WPS 2.0.2 Interface Standard. – URL: <https://docs.ogc.org/is/14-065/14-065r2.html>. – Текст : электронный).

Стандарт SpatioTemporal Asset Catalogs (STAC, пространственно-временной каталог активов) обеспечивает общую структуру для предоставления и каталогизации данных, таких как изображения, SAR, облака точек, кубы данных, Full Motion Video и т.д. от поставщиков данных (Radiant Earth Foundation : SpatioTemporal Asset Catalog (STAC). – URL: <https://stacspec.org/>. – Текст : электронный). STAC обеспечивает доступ к различным форматам пространственных данных и предоставляет общий способ поиска дополнительной информации о географическом местоположении за определенный период времени. В настоящее время ведется работа по включению данного стандарта в число стандартов OGC.

На основе Common Workflow Language (CWL), формального языка высокого уровня, можно описывать логику обработки данных в виде рабочих процессов [19]. Данный язык позволяет выполнять одни и те же рабочие процессы в различных средах, таких как локальные компьютеры, кластеры, облака и высокопроизводительные вычисления, однако не предоставляет механизмов выбора по различным критериям сервиса среди реализующих одинаковую логику (например, на наименее загруженном хосте или с наиболее высоким рейтингом и т. п.).

Таким образом, проблемная ситуация заключается в несовершенстве технологий, которые предоставляют исследователям и аналитикам возможность не просто объединять разнородные онлайн-данные и инструменты их обработки бесшовным образом, но и учитывать при этом различные критерии выбора соответствующих инструментов.

В данной статье представлена модель распределенной обработки разнородных геопространственных данных, которая обеспечивает функционирование инструментов формирования целенаправленных рабочих процессов на основе поиска в репозиториях опубликованных данных и микросервисов, а также представления их в виде взаимосвязанных узлов сети массового обслуживания, предназначенной для автоматизации процессов научных исследований и решения различных расчетно-информационных задач в области мониторинга и прогнозирования потенциально опасных процессов природного и техногенного характера.

Подходы к реализации распределенной обработки разнородных геопространственных данных

Современные технологии, такие как сервис-ориентированная архитектура и микросервисы, позволяют кооперировать данные и компоненты целенаправленных рабочих процессов между различными организационными единицами и поддерживают повторное использование и взаимодействие компонентов в сложных автоматизированных системах, тем самым повышая эффективность их функционирования, а также снижая стоимость их разработки и последующей эксплуатации [20, 21].

В то время как традиционные рабочие процессы в бизнесе ориентированы на обработку документов и управление задачами, научные и аналитические рабочие процессы в области мониторинга и прогнозирования потенциально-опасных процессов природного и техногенного характера обычно ориентированы на сбор, обработку и анализ больших объемов геопространственных данных [22–24] и часто включают их преобразование, анализ и моделирование в очередях [25].

В настоящее время оптимизация процессов моделирования окружающей среды осуществляется путем расширения стандартов в области геоинформационных технологий и функциональных возможностей геоинформационных систем в сторону поддержки удаленных вычислений и пространственных преобразований в компьютерных сетях. При этом в области организации процессов обработки разнородных геопространственных данных наиболее широкое распространение получили технологии, основанные на спецификациях консорциума открытых геосистем.

Эти технологии в первую очередь ориентированы на решение задач интеграции геопространственных данных и обмена ими, при этом сложной и слабо исследованной проблемой остается описание критериев обоснованного выбора сервисов обработки, а также организация общедоступных каталогов сформированных ЦРП и их развертывание в качестве цепочек сервисов обработки, которые могут быть применимы к другим приложениям.

Таким образом, для решения задачи по реализации инструментария формирования ЦРП обработки данных в области мониторинга и прогнозирования потенциально-опасных процессов природного и техногенного характера предлагается подход, удовлетворяющий следующим условиям.

1. Поскольку требуется обеспечить единообразный доступ к огромному количеству крайне неоднородных инструментов обработки, реализующие их микросервисы и связанные с ними метаданные должны публиковаться посредством специализированных реестров, а сами микросервисы должны обнаруживаться с использованием описания метаданных их работы.

Описание и публикация геопространственных данных может быть реализована на основе применения стандартов OGC, таких как WFS, WMS, CSW, а также STAC и т. п. Описание и публикация доступных микросервисов обработки – на основе применения стандартов WPS, WCPS, а также специализированных решений для обработки данных, таких как облачные платформы и VI-системы, которые могут выполнять схожие функции, но в более широком контексте, а не только в геоинформатике.

2. Предлагаемая модель должна объединять опубликованные микросервисы в целенаправленные рабочие процессы для решения тех или иных научных или аналитических задач.

Описание целенаправленных рабочих процессов может быть реализовано с применением возможностей формальных языков CWL, Snakemake и т. п., при этом дополнительно должна поддерживаться возможность выбора по различным критериям среди сервисов, реализующих одинаковую логику.

3. Сформированные ранее описания ЦРП также должны храниться в репозиториях и быть доступны для повторного использования при решении похожих задач. В настоящее время не существует сервисов и стандартов, решающих эту задачу.

Далее будет рассмотрена модель распределенной обработки разнородных геопространственных данных, которая позволяет реализовать предложенный подход.

Характеристика модели распределенной обработки разнородных геопространственных данных на основе технологии микросервисов

Для реализации предложенного выше подхода в данной статье рассмотрена модель распределенной обработки разнородных геопространственных данных, схема которой представлена на рис. 1.

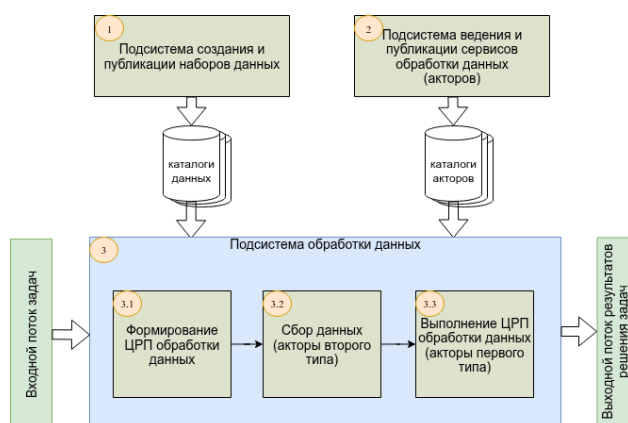


Рис. 1. Модель распределенной обработки разнородных геопространственных данных на основе технологии микросервисов

Элементами модели распределенной обработки геопространственных данных являются автономные веб-сервисы (мы будем называть их акторами), что позволяет решать множество разнородных задач, включая задачи регистрации и обнаружения исходных данных, бесшовно сочетать высокоуровневую разработку целенаправленных рабочих процессов с выполнением и взаимодействием во время их выполнения, доступом к локальным и удаленным данным, а также локальным и удаленным вызовом служб вместе со встроенным механизмом управления параллелизмом и планирования заданий.

В состав предлагаемой модели входят следующие подсистемы:

- 1) подсистема создания и публикации наборов данных;
- 2) подсистема ведения и публикации сервисов обработки данных (акторов);
- 3) подсистема обработки данных.

Подсистема создания и публикации наборов данных может быть реализована на ос-

нове стандартов CSW, STAC и т. п. Сами наборы данных могут создаваться с использованием стандартов WFS, WMS, WTS и т. п. Результатом работы подсистемы является каталог данных, который содержит метаданные, необходимые для дальнейшего поиска требуемых наборов данных в подсистеме обработки.

Подсистема ведения и публикации сервисов обработки данных может быть реализована с применением стандартов WPS, WCPS, а также с применением иных специализированных решений. Результатом работы подсистемы является каталог акторов.

Актеры в рамках данной подсистемы делятся на два типа:

- 1) актеры первого типа, предназначенные для выполнения операций анализа и обработки данных;
- 2) актеры второго типа, предназначенные для запроса наборов исходных данных.

Геопространственные аналитические функции представлены как акторы первого типа, тогда как службы и сервисы, которые запрашивают исходные данные в различных форматах, являются актерами второго типа.

Актеры связаны друг с другом для составления целенаправленного рабочего процесса. При этом подсистема содержит несколько стандартных акторов, предназначенных для доступа к данным и сервисам их обработки, в частности, актер WebService предоставляет простой механизм подключаемого модуля для выполнения любой веб-службы. Используя этот компонент, любое приложение может быть развернуто как удаленная служба.

Подсистема обработки данных предполагает последовательное выполнение трех процессов:

- 1) формирование ЦРП обработки данных в рамках решения поступившей задачи;
- 2) сбор исходных данных, требуемых для решения поступившей задачи;
- 3) выполнение ЦРП обработки данных.

Формирование ЦРП обработки данных осуществляется путем декомпозиции поступившей задачи на подзадачи, дальнейшего их связывания с типами сервисов и может быть реализовано с использованием формальных языков CWL, Snakemake и т. п. со следую-

щими дополнениями при описании каждой подзадачи:

- описываются параметры доступа ко всем однотипным сервисам, пригодным для решения подзадачи;

- указываются критерии окончательного выбора сервиса обработки среди однотипных (они будут применяться в ходе выполнения ЦРП).

Далее ЦРП сохраняется в соответствующем каталоге с привязкой к типу задачи, для решения которой он сформирован. В дальнейшем, если для решения поступившей задачи в каталоге уже имеется подходящий ЦРП, то будет использован именно он без необходимости его повторного составления. После того, как ЦРП сформирован, начинаются процессы сбора исходных данных и выполнения ЦРП.

Подсистема обработки данных может быть представлена в виде частной модели, которая относится к классу многоканальных сетей массового обслуживания (СеМО) с приоритетами, при этом каждый узел такой сети представлен набором однотипных акторов.

Исходя из того, что для проведения некоторых вычислений в процессе решения поступившей задачи могут быть использованы разные акторы, которые в общем случае:

- реализуют разные алгоритмы;
- созданы разными разработчиками;
- адаптированы под разные наборы данных,

в метаданные каждого актора в подсистеме их ведения и публикации предлагается ввести дополнительный количественный параметр, который будет характеризовать приоритет выбора данного актора относительно других при проведении вычислений. Назовем такой параметр рейтингом. Присвоение значения данному параметру предполагается на основе усреднения экспертных оценок.

В контексте данной подсистемы акторы с присвоенным рейтингом будем называть ресурсами обработки. Каждый такой ресурс предназначен для проведения некоторого преобразования исходных данных (выполнения подзадачи) в единой системе вычислений в рамках сформированного целенаправленного рабочего процесса, разбитого на этапы [14, 15, 23].

Пусть рассматриваемая СеМО включает в свой состав N узлов. Имеющиеся ресурсы задаются матрицей $\Omega = \{\omega_{n,k}\}$, $n \in [1, M]$, n – тип ресурса (или узел СеМО), k – номер ресурса n -го типа. Доступность ресурсов в некоторый момент времени определяется матрицей Θ . В качестве элементов данной матрицы выступают значения 0 или 1, при этом число 0 означает, что данный ресурс недоступен, а 1 – что ресурс доступен. Для вычисления размерности этой матрицы определяется тип n , число σ_n ресурсов которого максимально. При этом количество столбцов матрицы определяется количеством ресурсов данного типа, а количество строк – количеством типов ресурсов (рис. 2). Если количество ресурсов заданного типа меньше, чем $\max(\sigma_n)$, то такой элемент имеет значение 0.

$$\Theta = \begin{matrix} & \xrightarrow{\max(\sigma_n)} & & & & & \\ \begin{matrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{matrix} & \left| \begin{matrix} \downarrow \\ \downarrow \\ \downarrow \\ \downarrow \\ \downarrow \\ \downarrow \end{matrix} \right. & N \end{matrix}$$

Рис. 2. Порядок формирования матрицы доступности ресурсов

Каждый k -й ресурс в рамках n -го узла формально может быть представлен кортежем $\omega_{n,k} = \langle n, \xi_{n,k}, \tau_{n,k} \rangle$, при этом параметр $\xi_{n,k}$ определяет его рейтинг среди прочих однотипных ресурсов, входящих в узел, а $\tau_{n,k}$ определяет время, которое требуется ресурсу для выполнения подзадачи.

Элементы в строках матрицы Θ отсортированы по убыванию значения $\xi_{n,k}$, таким образом, в дальнейшем при выборе ресурса для окончательного составления ЦРП будем выбирать самый левый доступный ресурс, у которого значением в матрице Θ является 1. В дальнейшем предполагается расширить алгоритм выбора ресурса таким образом, чтобы использовать также и параметр $\tau_{n,k}$. В частности, можно будет предусмотреть требования по оперативности вычислений, предъявляемые к решаемой задаче в целом.

Важно отметить, что узлы сети могут обрабатывать свои подзадачи как параллельно, так и последовательно, при этом результаты работы одного элемента могут являться исходными данными для других элементов. Пример схемы, иллюстрирующей последовательность вычислений в рамках некоторого целенаправленного рабочего процесса, представлен на рис. 3.

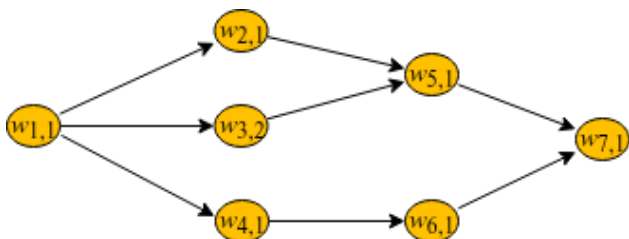


Рис. 3. Пример проведения вычислений в виде сетевого ориентированного графа в рамках целенаправленного рабочего процесса обработки данных

На рис. 3 для выполнения первой подзадачи в рамках ЦРП был выбран ресурс $w_{1,1}$, который выступил в качестве поставщика исходных данных для выполнения второй, третьей и четвертой подзадачи, которые выполняются параллельно ресурсами $w_{2,1}$, $w_{3,2}$ и $w_{4,1}$ соответственно. При этом $w_{2,1}$ и $w_{3,2}$ являются поставщиками исходных данных для выполнения пятой подзадачи, а $w_{4,1}$ – для шестой подзадачи, которые также выполняются параллельно. Результат выполнения задачи в целом в рамках ЦРП формирует ресурс $w_{7,1}$,

исходные данные для которого поставляют ресурсы $w_{5,1}$ и $w_{6,1}$. В каждый момент времени все ресурсы, для которых готовы исходные данные должны быть запущены в параллельном режиме.

Ход выполнения целенаправленного рабочего процесса можно отслеживать путем добавления в него дополнительных служебных ресурсов (акторов), которые будут осуществлять: обнаружение сбоев и восстановление работоспособности ЦРП, сбор промежуточных и конечных результатов процесса, определение происхождения данных, а также регистрацию информации о ходе процесса, сохранение журналов его выполнения и иные вспомогательные операции.

Пример обработки геопространственных данных сетью акторов

В качестве примера обработки геопространственных данных взята задача формирования несложного, но наглядного целенаправленного рабочего процесса для вычисления всех вхождений объектов вида А в пересечения выпуклых оболочек слоев объектов вида В и вида С. Цель данного примера заключается не в составлении рабочего алгоритма решения конкретной прикладной расчетно-аналитической задачи, а в демонстрации подхода к формированию ЦРП с использованием предложенной модели.

На рис. 4 представлена схема ЦРП для решения рассматриваемой задачи.

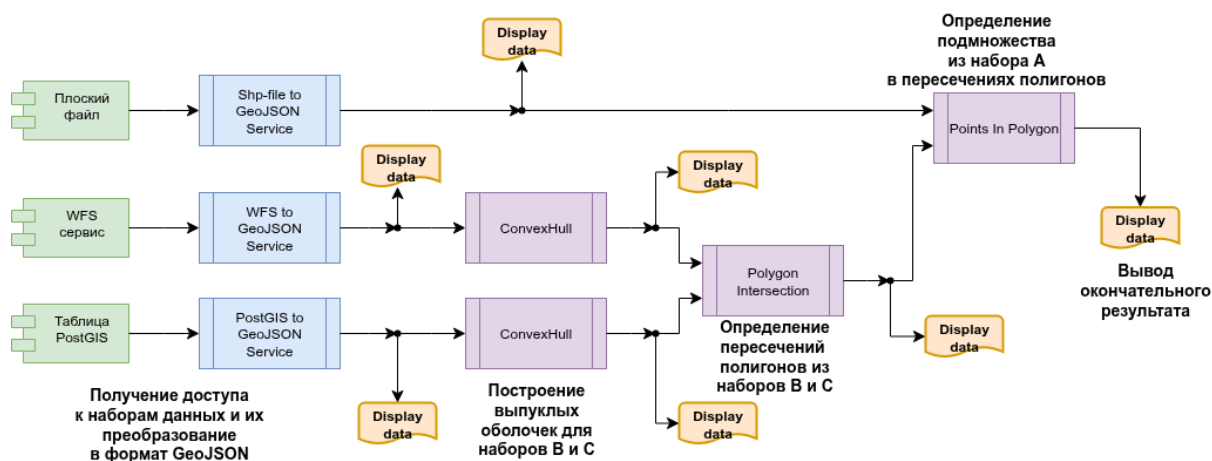


Рис. 4. Моделирование нахождения всех вхождений объектов вида А в пересечения выпуклых оболочек слоев объектов вида В и вида С

В ходе подготовки к решению задачи были подготовлены следующие наборы данных:

- 1) набор данных с объектами вида А представлен плоским shape-файлом;
- 2) набор данных с объектами вида В представлен WFS-сервисом;
- 3) набор данных с объектами вида С представлен таблицей в СУБД PostgreSQL с пространственным расширением PostGIS.

Кроме того, были настроены веб-службы для чтения наборов данных и проведения необходимых для решения задачи вычислений, при этом все веб-службы формируют результаты своих вычислений в формате GeoJSON (для векторных данных), который является наиболее современным и легковесным форматом для обмена геоданными между веб-ориентированными приложениями. Визуализация окончательных и промежуточных результатов решения рассматриваемой задачи может осуществляться средствами любой подходящей для этого геоинформационной системы, поддерживающей источники данных в формате GeoJSON или путем добавления в ЦРП новых акторов, обеспечивающих преобразование наборов данных из формата GeoJSON в любой поддерживаемый выбранной ГИС формат.

Основой последовательных вычислений в рамках рассматриваемого целенаправленного рабочего процесса являются следующие акторы:

- 1) Convex Hull – актор построения выпуклой оболочки;
- 2) Polygon Intersection – актор вычисления пересечения полигонов;
- 3) Points in Polygon – актор определения множества точек в полигоне.

Во время составления рабочего процесса осуществляется поиск нужных исходных данных и акторов:

- 1) акторов первого типа, которые отвечают за проведение вычислений;
- 2) акторов второго типа, которые обеспечивают доступ к исходным данным.

При наличии нескольких сервисов, реализующих заданные вычисления, будет выбран тот, который имеет наибольший рейтинг.

Выполнение сформированного ЦРП начинается с работы акторов второго типа, которые получают наборы исходных данных

и трансформируют их к единому формату для упрощения дальнейшей обработки. Поскольку для выполнения подзадач построения выпуклых оболочек для наборов данных В и С все готово, акторы «Convex Hull», их реализующие, могут быть запущены параллельно. При их завершении начинает выполняться актор «Polygon Intersection», реализующий вычисление пересечений выпуклых оболочек наборов данных В и С. Далее актор «Points in Polygon», который реализует определение множества точек в полигоне и который уже имеет исходный набор данных с объектами вида А, ожидает результатов выполнения актора «Polygon Intersection» и после их поступления формирует окончательный результат выполнения поступившей задачи.

Для визуального отображения в среде выбранной ГИС результирующих и промежуточных наборов данных на каждом шага обработки может быть использован актор «Display data». В контексте рассматриваемого примера данный актор обеспечивает визуализацию векторных данных, при этом для визуализации растровых данных он может быть заменен на иные, к примеру на основе формата GeoTIFF, на суть вычислительного процесса это не влияет.

При выполнении рассматриваемого ЦРП в его состав могут добавляться дополнительные акторы, реализующие различные функции мониторинга проводимых вычислений, например, контроль доступа к веб-службам, отсутствие сетевой связности, обработка исключений, журналирования результатов и т. п.

Таким образом может быть реализована расширяемая интерактивная система формирования и выполнения целенаправленных рабочих процессов с учетом обоснованного выбора акторов на основе их рейтинга среди однотипных в виде среды визуального программирования, которая может эффективно собирать, составлять, выполнять и контролировать распределенные геопространственные процессы для моделирования окружающей среды.

Заключение

В данной статье была представлена модель распределенной обработки разнородных геопространственных данных на основе техно-

логии микросервисов в виде целенаправленных рабочих процессов, представленных сетью акторов, для моделирования окружающей среды.

Отличительной особенностью данной модели является учет различных критериев выбора инструментов обработки данных, в частности, рейтинга акторов среди однотипных.

Предлагаемая модель может служить основой для разработки систем интерактивного составления и выполнения целенаправленных рабочих процессов обработки разнородных данных с поддержкой мониторинга выполнения и валидации результатов (для этого в структуру целенаправленных рабочих процессов могут встраиваться дополнительные специальные акторы). Публикация геопространственных данных и процессов в виде сервисов позволяет получить единую структуру для доступа к различным форматам и системам.

Что касается будущей работы, с точки зрения организации процессов обработки

геопространственной информации требуется дополнить систему критериев выбора соответствующего актора для включения в ЦРП, включающую не только его рейтинг, но и время, требуемое на выполнение вычислений. Кроме того, требуется разработать клиентское приложение для упрощения публикации наборов данных, включая решение проблем эффективности при обработке очень больших наборов данных. Также предполагается дальнейшее развитие модели в направлении оптимизации распределенного выполнения целенаправленных рабочих процессов в высоконагруженных системах и в системах, реализующих ролевою модель доступа к данным, которая позволяет пользователям создавать специальные группы, чтобы они могли совместно использовать свои данные и службы обработки через унифицированную инфраструктуру.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пространственные данные [электронный ресурс]. Университет МГИМО. URL: <https://mgimo.ru/about/structure/ucheb-nauch/imi/geo/docs/spatial-data/> (дата обращения: 25.10.2024).
2. Информационные ресурсы государственного кадастра недвижимости и территориального планирования в пространственном развитии государства : монография. колл. авторов; под ред. А. П. Сизова. М. : РУСАЙНС, 2021. – 86 с.
3. Карпик А. П. Анализ состояния и проблемы геоинформационного обеспечения территорий. Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2014. № 4. С. 3–7.
4. Карпик А. П., Обиденко В. И. Исследование потребности федеральных органов исполнительной власти Российской Федерации в пространственных данных. Новосибирск, 2021. 216 с.
5. Карпик А. П., Мусихин И. А., Ветошкин Д. Н. Интеллектуальные информационные модели территорий как эффективный инструмент пространственного и экономического развития. Вестник СГУГиТ. 2021. Т. 26, № 2. С. 155–163. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-2-155-163.
6. Филиппов Д. В., Чурсин И. Н., Рулев Д. Д. Применение методов комплексной обработки данных дистанционного зондирования Земли для изучения процессов окисления почв с искусственным орошением. Вестник СГУГиТ. 2023. Т. 28, № 1. С. 80–91. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-1-80-91.
7. Зулин К. А., Кулик Е. Н. Использование данных дистанционного зондирования SENTINEL-2В для мониторинга последствий разливов нефти. Вестник СГУГиТ. 2023. Т. 28, № 2. С. 60–66. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-2-60-66.
8. Хлебникова Т. А., Арбузов А. С., Лисицкий Д. В., Оприпова О. А. Использование материалов БВС для выявления фактов нарушения земельного законодательства на территории г. Новосибирска. Вестник СГУГиТ. 2023. Т. 28, № 5. С. 33–40. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-5-33-40.
9. Долгополов Д. В., Никонов Д. В., Полуянова А. В., Мелкий В. А. Возможности визуального дешифрирования магистральных трубопроводов и объектов инфраструктуры по спутниковым изображениям высокого и сверхвысокого пространственного разрешения. Вестник СГУГиТ. 2019. Т. 24, № 3. С. 65–81. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-3-65-81.

10. Гордиенко А. С., Ткач А. В. Исследование состояния окружающей среды в районе нефтеразработок по космическим снимкам. Вестник СГУГиТ. 2022. Т. 27, № 6. С. 55–63. DOI:10.33764/2411-1759-2022-27-6-55-63.
11. Опыт реализации проекта АПК «Безопасный город» на территории Вологодской области [Электронный ресурс]. Компания «Актив». URL: https://www.aktivsb.ru/statii/opyt_realizatsii_proekta_apk_quotbezopasnyu_gorodquot_na_territorii_vologodskoy_oblasti.html (дата обращения: 30.09.2025).
12. О проблемных вопросах при построении АПК «Безопасный город» [Электронный ресурс]. Системы безопасности. URL: <https://www.secuteck.ru/articles/o-problemnyh-voprosah-pri-postroenii-apk-bezopasnyj-gorod> (дата обращения: 30.09.2025).
13. Развитие «Безопасного города» требует интеграции коммуникационных и информационных технологий [Электронный ресурс]. МЧС России. URL: <https://mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/novosti/5289121> (дата обращения: 30.09.2025).
14. Алферов А. В., Карин А. И., Карин С. А., Октябрьский В. В. Метод адаптивного определения приоритетов информационно-расчетных задач в системах мониторинга потенциально-опасных процессов природного и техногенного характера в условиях ресурсной ограниченности. Труды Военно-космической академии. 2021. Вып. 676. С. 95–104.
15. Карин А. И., Карин С. А., Октябрьский В. В. Модели адаптивного управления функционированием систем комплексной обработки геопространственных данных при решении задач мониторинга территориально-распределенных объектов. Труды Военно-космической академии. – 2019. – Вып. 671. – С. 314–325.
16. I. H. Sarker, M. M. Hoque, M. K. Uddin, and T. Alsanoosy, “Mobile data science and intelligent APPs: concepts, AI-based modeling and research directions,” *Mobile Networks and Applications*, Vol. 26, No. 1, P. 285–303, 2021.
17. D. Blazquez and J. Domenech, “Big data sources and methods for social and economic analyses,” *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 130, P. 99–113, 2018.
18. Standards [Электронный ресурс]. Open Geospatial Consortium. URL: <https://www.ogc.org/standards/> (дата обращения: 25.10.2024).
19. Common Workflow Language [Электронный ресурс]. Software Freedom Conservancy. URL: <https://www.commonwl.org/> (дата обращения: 25.10.2024).
20. Информационная модель – основа «умного города» [Электронный ресурс]. ISICAD. URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=19940 (дата обращения: 25.10.2024).
21. Вагизов М.Р., Заяц А.М. Концепция инфраструктуры единого геоинформационного центра управления лесным хозяйством (часть 1). Вестник СГУГиТ. 2022. Т. 27, № 3. С. 50–61. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-3-50-61.
22. Wu J., Gan W., Chao H., and Yu P. S., “Geospatial Big Data: Survey and Challenges,” *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 17, P. 17007–17020, 2024, doi: 10.48550/arXiv.2404.18428.
23. Akter S. and Wamba S. F., “Big data and disaster management: a systematic review and agenda for future research,” *Annals of Operations Research*, vol. 283, P. 939–959, 2019.
24. Lacroix P., Moser F., Benvenuti A., Piller T., Jensen D., Petersen I., Planque M., and Ray N., “MapX: An open geospatial platform to manage, analyze and visualize data on natural resources and the environment,” *SoftwareX*, vol. 9, P. 77–84, 2019.
25. Карин С. А., Карин А. И. Способ повышения эффективности комплексной обработки данных дистанционного зондирования Земли при решении задач мониторинга пространственных объектов. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2022. Т. 22, № 4. С. 691–698. DOI 10.17586/2226-1494-2022-22-4-691-698.

REFERENCES

1. MGIMO University. Spatial data (n. d.). Retrived from: <https://mgimo.ru/about/structure/ucheb-nauch/imi/geo/docs/spatial-data/> (date of the application: 24.10.2024) [In Russian].

2. Sizov, A. P. (Ed.). (2021) *Informacionnye resursy gosudarstvennogo kadastra nedvizhimosti i territorial'nogo planirovanija v prostranstvennom razvitii gosudarstva: monografija* [Information resources of the state real estate cadastre and territorial planning in the spatial development of the state]. Moscow: RUSAJNS [In Russian].
3. Karpik, A. P. (2014). Analysis of the state and problems of geoinformation support of territories. *Izv. vuzov. Geodezija i ajerofotos#emka* [News of universities. Geodesy and aerial photography], 4, 3–7 [In Russian].
4. Karpik, A. P., Obidenko, V. I. (2021). *Issledovanie potrebnosti federal'nyh organov ispolnitel'noj vlasti Rossijskoj Federacii v prostranstvennyh dannyh* [Study of the needs of federal executive bodies of the Russian Federation for spatial data]. Novosibirsk, 216 p. [In Russian]
5. Karpik, A. P., Musikhin, I. A., Vetoshkin, D. N. (2021). Smart information models as an effective tool of regional spatial and economic development. *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT], 26(2), 155–163. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-2-155-163 [in Russian].
6. Filippov, D. V., Chursin, I. N., Rulev, D. D., Boyarenkova, A. D. (2023). Implementation of complex methods of earth's remote sensing data processing for studying carbonation processes of soils with artificial irrigation. *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT], 28(1), 80–91. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-1-80-91 [in Russian].
7. Zulin, K. A., Kulik, E. N. (2023). Oil spill monitoring using SENTINEL-2B remote sensing data. *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT], 28(2), 60–66. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-2-60-66 [in Russian].
8. Khlebnikova, T. A., Arbuzov, S. A., Lisitsky, D. V., Opritova, O. A. (2023). The use of UAS materials to identify facts of land legislation violation in the territory of Novosibirsk. *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT], 28(5), 33–40. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-5-33-40 [in Russian].
9. Dolgopolov, D. V., Nikonov, D. V., Poluianova, A. V., Melkii, V. A. (2019). Possibilities of visual interpretation of main pipelines and infrastructure facilities using satellite images of high and ultra-high spatial resolution. *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT], 24(3), 65–81. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-3-65-81 [in Russian].
10. Gordienko, A. S., Tkach, A. V. (2022). Study of the state of the environment in the area of oil production using space images. *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT], 27(6), 55–63. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-6-55-63 [in Russian].
11. Aktiv Company. Experience in implementing the “Safe City” APCS project in the Vologda region (n. d.). Retrived from: https://www.aktivsb.ru/statii/opyt_realizatsii_proekta_apk_quotbezopasnyy_gorodquot_na_territorii_vologodskoy_oblasti.html (date of the application: 30.09.2025) [In Russian].
12. Security systems. On the problematic issues in the construction of the "Safe City" automated control system (n. d.). Retrived from: <https://www.secuteck.ru/articles/o-problemnyh-voprosah-pri-postroenii-apk-bezopasnyj-gorod> (date of the application: 30.09.2025) [In Russian].
13. Ministry of Emergency Situations of Russia. The development of a "Safe City" requires the integration of communication and information technologies (n. d.). Retrived from: <https://mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/novosti/5289121> (date of the application: 30.09.2025) [In Russian].
14. Alferov, A. V., Karin, A. I., Karin, S. A., Oktyabrsky, V. V. (2021). Method of adaptive determination of priorities of information and calculation tasks in systems for monitoring potentially hazardous processes of natural and man-made nature in conditions of resource limitations. *Trudy Voenno-kosmicheskoy akademii* [Proceedings of the Military Space Academy], 676, 95–104 [In Russian].
15. Karin, A. I., Karin, S. A., Oktyabrsky V. V. (2019). Models of adaptive control of functioning of systems for integrated processing of geospatial data in solving problems of monitoring territorially distributed objects. *Trudy Voenno-kosmicheskoy akademii* [Proceedings of the Military Space Academy], 671, 314–325 [In Russian].
16. I. H. Sarker, M. M. Hoque, M. K. Uddin, and T. Alsanoosy, “Mobile data science and intelligent APPs: concepts, AI-based modeling and research directions,” *Mobile Networks and Applications*, vol. 26, no. 1, pp. 285–303, 2021.

17. D. Blazquez and J. Domenech, "Big data sources and methods for social and economic analyses," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 130, pp. 99–113, 2018.
18. Open Geospatial Consortium. Standards (n. d.). Retrived from: <https://www.ogc.org/standards/> (date of the application: 25.10.2024).
19. Software Freedom Conservancy. Common Workflow Language (n. d.). Retrived from: <https://www.commonwl.org/> (date of the application: 25.10.2024).
20. ISICAD. An information model is the basis of a smart city (n. d.). Retrived from: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=19940 (date of the application: 24.10.2024) [In Russian].
21. Vagizov, M. R., Zayats, A. M. (2022). The concept of the infrastructure of a single geoinformation center for forestry management (part 1). *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(3), 50–61. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-3-50-61 [In Russian].
22. J. Wu, W. Gan, H. Chao, and P. S. Yu, "Geospatial Big Data: Survey and Challenges," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 17, pp. 17007-17020, 2024, doi: 10.48550/arXiv.2404.18428.
23. S. Akter and S. F. Wamba, "Big data and disaster management: a systematic review and agenda for future research," *Annals of Operations Research*, vol. 283, pp. 939–959, 2019.
24. P. Lacroix, F. Moser, A. Benvenuti, T. Piller, D. Jensen, I. Petersen, M. Planque, and N. Ray, "MapX: An open geospatial platform to manage, analyze and visualize data on natural resources and the environment," *SoftwareX*, vol. 9, pp. 77–84, 2019.
25. Karin, S. A., Karin, A. I. (2022) Method for increasing the efficiency of integrated processing of Earth remote sensing data in solving problems of monitoring spatial objects. *Nauchno-tehnicheskij vestnik informacionnyh tehnologij, mehaniki i optiki [Scientific and technical bulletin of information technologies, mechanics and optics]*, 22(4), 691–698. DOI 10.17586/2226-1494-2022-22-4-691-698 [In Russian].

Об авторе

Сергей Александрович Карин – кандидат военных наук, доцент, кафедра оптико-электронных средств.

Author details

Sergey A. Karin – PhD, Associate Professor, Department of Optical-Electronic Equipment.

Получено / Received 26.06.2025

Поступила после рецензирования / Revised 04.09.2025

Принята к публикации / Accepted 16.10.2025