

УДК 528+004.9

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ И ПОТОКОВ

Болбаков Роман Геннадьевич,

*канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой инструментального и прикладного программного обеспечения Института информационных технологий,
e-mail: bolbakov@mirea.ru,*

Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), Москва,

Попов Кирилл Сергеевич,

*магистрант кафедры инструментального и прикладного программного обеспечения (программист 2-й категории) Института информационных технологий,
e-mail: kralexeev@gmail.com,*

Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), Москва

В статье исследуется современное состояние высокопроизводительной обработки пространственной информации. Эта информация характеризуется большими информационными объемами, разнообразием типов и форматов данных. Одним из основных методов обработки пространственной информации большого объема являются параллельные вычисления. Существуют различные способы реализации параллельных вычислений. В статье раскрываются особенности реализации высокопроизводительной обработки пространственных данных на основе параллельных вычислений. Раскрываются особенности разных подходов к моделированию пространственных данных в зависимости от типа решаемых задач. Выделены основные признаки, характеризующие пространственные данные, которые относятся к большим данным. Отмечается, что применение высокопроизводительной обработки пространственных данных как инструмента анализа и принятия решений обусловлено тремя причинами: расширение возможностей измерительных систем; совершенствование пространственных моделей и методов решения сложных пространственных задач; рост производительности вычислительных систем. В статье типизированы особенности применения методов высокопроизводительной обработки больших пространственно-временных данных, которые являются основой информационного обеспечения геоинформационных систем.
Ключевые слова: пространственная информация, геоданные, большие данные, высокопроизводительная обработка, параллельные вычисления

HIGH-PERFORMANCE PROCESSING OF SPATIAL INFORMATION OF LARGE VOLUMES AND STREAMS

Bolbakov R.G.,

*candidate of technical sciences, associate professor, head of the department of instrumental and applied software Institute of Information Technology,
e-mail: bolbakov@mirea.ru,*

Russian Technological University (RTU MIREA), Moscow,

Popov K.S.,

*master student of the department of instrumental and applied software (programmer of the 2nd category) Institute of Information Technology,
e-mail: kralexeev@gmail.com,*

Russian Technological University (RTU MIREA), Moscow

The article examines the current state of high-performance spatial information processing. This information is characterized by large amounts of information, a variety of data types and formats. One of the main methods of

processing large-volume spatial information is parallel computing. There are various ways to implement parallel computing. The article reveals the features of implementing high-performance spatial data processing based on parallel computing. The features of different approaches to spatial data modeling are revealed, depending on the type of problems to be solved. The main features that characterize spatial data that relate to big data are highlighted. It is noted that the use of high-performance spatial data processing as a tool for analysis and decision-making is due to three reasons: expanding the capabilities of measurement systems; improving spatial models and methods for solving complex spatial problems; and increasing the performance of computing systems. The article typifies the features of using methods of high-performance processing of large spatio-temporal data, which are the basis of information support for geoinformation systems.

Keywords: spatial information, geodata, big data, high-performance processing, parallel computing

DOI 10.21777/2500-2112-2020-3-80-88

Введение

Пространственные данные (географические данные, геоданные) – данные о пространственных объектах и их наборах. Пространственные данные составляют основу информационного обеспечения геоинформационных систем, оперирующих пространственными (координатно-определенными) данными. Процесс обработки пространственных данных характеризуется крупномасштабными нелинейными моделями, которые содержат большие объемы данных и большое разнообразие типов данных.

В настоящее время основой высокопроизводительной обработки пространственных данных являются кластерные вычисления и параллельные вычисления. Анализ применения параллельных вычислений в геодезии и картографии проводится достаточно давно [20; 23]. Причиной применения высокопроизводительной обработки пространственных данных служат большие информационные потоки. Эти потоки получают при дистанционном зондировании Земли с помощью аэрофотосъемки и из космоса. Наиболее значительными по объему являются потоки видеоинформации [4; 17]. В настоящее время проблему обработки пространственных данных относят к проблеме «больших данных» [26; 27]. Высокопроизводительная обработка пространственных данных открывает большие возможности для изучения геосферы, является средством получения новых знаний и геознаний [1; 10]. Применение параллельных вычислений для обработки пространственных данных обусловлено тремя факторами: рост производительности вычислительных систем; рост производительности информационно-измерительных систем; развитие пространственных моделей и методов решения сложных пространственных задач. Влияние вычислений на получение результатов в области наук о Земле сформировало точку зрения для введения нового понятия «вычислительная геонаука». Задачи этого направления характеризуются объемными геоданными и нелинейными моделями. Многие такие задачи обработки пространственных данных вплоть до настоящего времени (например, преобразование криволинейных координат) решаются только численными методами. Решение сложных пространственных задач и выявление пространственных закономерностей требует применения численных методов и применения высокопроизводительных вычислений.

1. Особенности реализации параллельных вычислений в обработке пространственных данных

Основой высокопроизводительной обработки пространственных данных в настоящее время служат параллельные вычисления. Они представляют собой вычислительную модель, в которой одновременно и параллельно выполняется множество вычислительных процессов. Построение такой модели основано на дихотомическом делении большой проблемы или задачи на более мелкие [15; 31], которые затем можно решать параллельно и одновременно. Принципиальная схема параллельных вычислений, представленная на рисунке 1, интерпретируется следующим образом. Блок В11 содержит исходные данные и условия задачи. Блок В12 является когнитивным. В этом блоке осуществляется дихотоми-

ческое распараллеливание данных и разработка параллельных алгоритмов. Блоки В13, В14 (их может быть много) – вычислительные блоки или собственно параллельные вычисления. Блок В15 осуществляет слияние параллельных потоков и содержит результаты вычислений. Схема на рисунке 1 показывает, что нельзя сводить параллельные вычисления только к блокам В13, В14.

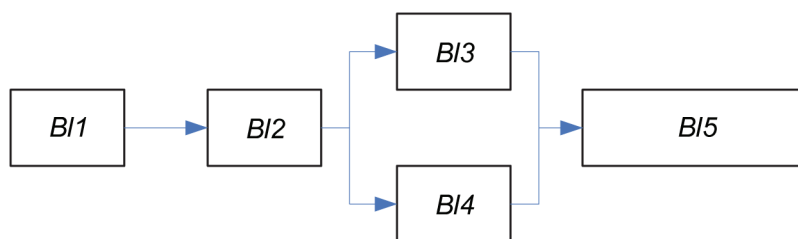


Рисунок 1 – Принципиальная схема параллельных вычислений

Существуют различные формы организации параллельных вычислений и соответственно разные уровни распараллеливания. Оптимизация в ходе распараллеливания вычислений – важная задача, решаемая в процессе разработки и использования высокопроизводительной информационно-вычислительной системы. Уровни сложности распараллеливания вычислений можно представить в виде следующей иерархии (рисунок 2): битовый уровень, уровень команд, уровень данных, уровень задач. Параллелизм давно используется в высокопроизводительных вычислениях, но данный подход имеет ограничения, препятствующие масштабированию частоты вычислений [21] в разных блоках типа В13, В14.

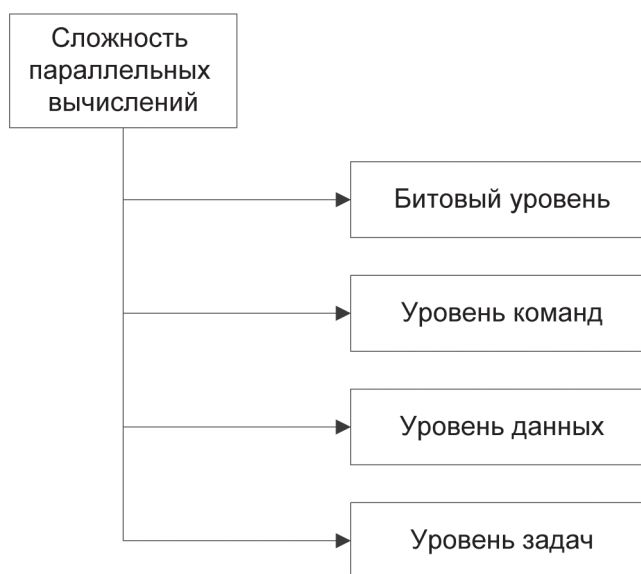


Рисунок 2 – Уровни сложности распараллеливания вычислений

Параллельные вычисления в области обработки пространственных данных применяются, если возможно, для решения следующих типов сложных задач:

- обработка больших объемов геоданных;
- обработка геоданных (в основном изображений) в реальном масштабе времени;
- обработка сложных пространственных закономерностей и процессов.

В терминах проблемы обработки больших данных [2] первая группа относится к «объему», вторая группа относится к характеристике «время», третья вычислительная группа относится к характеристике «разнообразию». Для каждой группы накоплен опыт по решению специальных задач. Существует проблема переноса параллельных алгоритмов с одних компьютеров на другие. Параллельные алгорит-

мы менее надежны, чем последовательные, поэтому для них актуальным является разработка методов оценки надежности параллельных вычислений.

Существуют типовые архитектуры скоростных вычислений. Следует выделить многопроцессорные системы (МПС) с перестраиваемой архитектурой. Эти многопроцессорные системы принято делить на два класса: с динамической реконфигурацией архитектуры (ДРА), с программируемой архитектурой (ПА). В системах ПА нужна архитектура определяется программно. Этот подход позволяет создавать группу процессоров с требуемой длиной слова. Дистрибутирование информации между процессорами происходит через специальный программируемый коммутатор, называемый коммутационной структурой. Реализация программируемых коммутаторов сопряжена с рядом трудностей. Основная из них состоит в том, что время передачи данных от одного микропроцессора к другому может быть существенно больше времени обработки информации в самом микропроцессоре. Применительно к схеме на рисунке 1 это означает, что время в блоке В12 сопоставимо или превосходит время обработки в блоках В13, В14. Системы ДРА имеют способность к динамическому перераспределению вычислительных потоков между задачами и их подзадачами [3; 6], что называется программной реконфигурацией [3]. Программная реконфигурация осуществляется алгоритмически в соответствии с информационными потребностями задач на вычислительные ресурсы. Программную реконфигурацию можно применять в больших распределенных системах без необходимости остановки системы для модификаций программного обеспечения. Кроме того, программная реконфигурация позволяет наращивать программные компоненты вычислительной системы, что способствует ее развитию. Необходимо отметить группу реконфигурируемых вычислительных систем на основе клеточных автоматов и искусственных нейронных сетей. В этой группе возможна самоорганизация и детерминированность вычислительного процесса.

2. Факторы необходимости высокопроизводительной обработки пространственных данных

Вышеуказанные факторы послужили основой для применения скоростных вычислений в науках о Земле и для обработки больших геоданных.

Одной из важных задач обработки пространственных данных является климатическое моделирование [29]. Моделирование климата включает интеграцию с комплексными моделями глобальной и региональной климатической системы, разработанными в NCAR (National Center for Atmospheric Research), и участие компонентов процесса в этих моделях. В ходе исследований особое внимание уделялось основам динамики климата, ассимиляции и прогнозирования, климату над сушей и наземным процессам, особенно тем, которые связаны с излучением растительного покрова и которые связаны с гидрологическим циклом. Последние включают снег, мерзлую землю, уровень грунтовых вод, сток и векторную маршрутизацию рек. Особый интерес представляют механизмы и процессы наводнений и засухи.

Геодинамическое моделирование. Используется для изучения природы глубинных сил и процессов. Мантийная конвекция управляет тектоникой плит и дрейфом континентов и, в свою очередь, контролирует возникновение землетрясений и вулканов, горообразование и долгосрочное изменение уровня моря. Основные проблемы при моделировании глобальной мантийной конвекции заключаются в разрешении широкого диапазона пространственных и временных масштабов и изменений в свойствах материалов на порядки величины. Вычислительные модели процессов мантийной конвекции преодолевают вышеуказанные проблемы за счет дискретизации, адаптивного уточнения сетки и масштабируемых параллельных решателей, которые работают на современных суперкомпьютерах. Новое направление – разработка обратных методов, которые ассимилируют данные наблюдений в модели мантийных потоков.

Моделирование потоков в анизотропных средах. Анизотропия среды может быть обусловлена несколькими причинами: анизотропией образующих ее частиц, анизотропным характером их взаимодействия, упорядоченным расположением частиц (кристаллической среды, жидкие кристаллы), мелкомасштабными неоднородностями. Анизотропные среды создают проблемы для моделирования потоков. Эти среды возникают в геологических исследованиях и при геофизической разведке. Модели

этих сред применяют как при моделировании участков месторождений, так и при моделировании экологических процессов. Области исследования включают динамику морских потоков, потоки флюидов, миграцию расплава в земной мантии.

Инверсное моделирование [24; 28]. Инверсное моделирование связано с инверсной или обратной задачей. Обратной задачей в науке называют процесс нахождения (вычисления) причинных факторов по набору наблюдений, которые порождают такой набор. Например, прямая засечка определяет координаты точек на местности по их координатам на снимке. Обратная засечка находит параметры снимков по координатам точек местности и снимка. Инверсное моделирование связано с импакт анализом, который является развитием и дифференциацией причинно-следственного анализа [9]. В обратной задаче определяют параметры модели, которые представляют зарегистрированные данные d_{obs} наблюдения (индекс obs означает «наблюдаемое»), и осуществляют поиск параметров модели p таких, чтобы наблюдалась зависимость (хотя бы приблизительно)

$$d_{obs} = F(p).$$

Как правило, обратные задачи решаются приближенно и методами итерации. При большом числе параметров сложность обратной задачи возрастает геометрически.

Инфраструктура пространственных данных [13]. Инфраструктура пространственных данных (ИПД) включает сложную совокупность данных, приближающих ее к «большим данным». Она включает, прежде всего, различные типы данных: метаданные, массивы пространственных данных, геоданные, атрибутивные данные, программы обработки, нормативы и т.п. Тематический состав ИПД включает информацию о координатных системах, государственных геодезических сетях, территориальных границах, позиционировании зданий и сооружений, правовой принадлежности пространственных объектов, наименованиях географических объектов, системах карт, а также адресную информацию. В состав ИПД включена информация, получаемая на основе дистанционного зондирования Земли. Инфраструктура пространственных данных особенно необходима в кадастре, например, при оценке недвижимости.

Геомониторинг. Современный геомониторинг обобщает многие виды мониторинга земной поверхности [8]. Однако технологически он основан на технологиях геоинформационного мониторинга. Современный геомониторинг является интегрированной технологией и качественно содержит разные технологии: измерение, первичная обработка, моделирование, системный анализ, причинно-следственный анализ, прогноз, поддержка принятия решений. Особенностью геомониторинга является использование геоданных как основы обработки и анализа, что вызывает сложность их комплексной обработки. Для геомониторинга целью является исследование состояний пространственных объектов и явлений с геосенсоров [5; 14; 16; 18]. Геомониторинг применяют в экологии, геологии, геофизике, при чрезвычайных ситуациях и т.п.

Для геомониторинга выделяют поле (область) мониторинга, в котором находится объект мониторинга. В некоторых случаях выделяют часть поля мониторинга, которая наиболее существенно влияет на состояние исследуемого объекта. Эту локальную часть поля называют информационной ситуацией. Информационная ситуация помогает описать и понять поведение объекта мониторинга. При геомониторинге выделяют методы или технологии мониторинга, а также в отдельных случаях модель объекта мониторинга. При геомониторинге широко используют информационные технологии и разные информационные модели: информационную модель объекта, модель ситуации; информационную модель процесса, информационную модель состояния, модель информационного взаимодействия и др. Мониторинг на этой основе служит инструментом наблюдений, контроля, прогнозирования и выработки решений для управления объектами мониторинга.

Данные дистанционного зондирования.

Дистанционное зондирование создают большие объемы данных до петобайт [32]. Дополнение к большому объему ДДЗ существуют в разнообразных формах и форматах, но главное – ДДЗ содержат информационную неопределенность, в отдельных случаях ДДЗ получают с большой скоростью (Velocity) датчиками реального времени [25], что представляет проблему не только для обработки, но и для их упаковки в массив. ДДЗ бесполезны, если их нельзя обработать или привести в вид, удобный для анализа. Это также мотивирует применение параллельных методов.

3. Свойства геоданных

Концептуально все направления, требующие высокопроизводительной обработки пространственных данных, применяют интегрированную форму данных, которая называется геоданные [11; 30]. Эти данные являются основой моделирования и анализа в геоинформатике [7]. Геоданные являются интегрированной моделью данных, которая содержит пространственные, временные и тематические свойства объектов. Геоданные описывают не только процессы и явления на земной поверхности, но и связанные с ними процессы и явления в околоземном пространстве [22]. В информационном аспекте геоданные являются описаниями пространственных объектов, территорий, процессов на поверхности Земли. В теоретико-множественном аспекте геоданные содержат пространственные отношения [12] и информационные отношения. В топологическом аспекте геоданные содержат пространственные связи [19] и пространственную топологию. В системном аспекте геоданные являются системной моделью. В ресурсном аспекте геоданные являются информационным ресурсом. В модельном аспекте геоданные являются основой построения пространственных моделей и пространственного моделирования. В логическом аспекте геоданные являются логически непротиворечивыми конструкциями, которые служат основой верификации пространственных моделей. В классификационном аспекте геоданные делят на два класса: координатные геоданные и атрибутивные геоданные.

Особенность сбора и формирования геоданных состоит в раздельном сборе координатной информации и семантической информации. Атрибутированием называют процесс связывания семантики с координатными данными. В аспекте четкости и информационной неопределенности по отношению к поставленной задаче геоданные могут быть четкими и нечеткими. Геоданные могут быть информационно определенными и информационно неопределенными. Это многообразие геоданных ставит задачи сложной и многоаспектной их обработки.

Особый интерес представляют геоданные, поступающие в режиме реального времени. Это могут быть либо космические данные, либо данные, поступающие от датчиков и сенсоров реального времени. Анализ применения геоданных реального времени показывает, что если возникает необходимость анализировать поступающие от сенсоров пространственные данные в режиме реального времени, то нужны специальные методы и алгоритмы. Если необходимо анализировать геоданные реального времени на переменном временном интервале, а их объем не ограничен, то наилучшей технологией обработки является пакетная обработка на основе парадигмы Map-Reduce [5], которая позволяет обрабатывать огромные массивы информации параллельно в распределенных кластерах. Если требуется не только обработка геоданных, но и оценка в режиме реального времени, то следует выбирать интеллектуальную технологию обработки. При этом возникает следующее противоречие. При высокой интенсивности потока геоданных оптимальным вариантом обработки будет технология обработки потоков данных типа Map-Reduce. Но это ограничивает оперативный пространственный анализ. Интеллектуальная обработка обеспечивает пространственную аналитику, но не применима при большой интенсивности потока.

Большие объемы данных актуализируют проблему их обновления, которая также относится к области сложных вычислений. Процедура обновления больших пространственно-временных данных не имеет аналогов в обновлении обычных баз пространственных данных или баз геоданных.

Для обработки геоданных применяются методы искусственного интеллекта посредством интеллектуальных технологий и систем. Интеллектуальные технологии являются развитием информационных, когнитивных и семиотических технологий. Соответственно в интеллектуальном управлении выделяются следующие ветви: интеллектуальное техническое управление, интеллектуальное семиотическое управление, интеллектуальное когнитивное управление. Искусственный интеллект связан с разными формами логики, системного анализа, эволюционными алгоритмами. Интеллектуальное когнитивное управление рассматривается как синтез человеческого компьютерного управления с использованием ассоциативных каналов и анализа неявных знаний.

Заключение

Высокоскоростные вычисления – это новое направление в области наук о Земле, которое позволяет решать сложные задачи, в частности, обработки пространственной информации больших объемов и

высокой сложности. В больших пространственных данных и больших геоданных присутствуют все компоненты больших данных, которые характеризуют четырьмя V: объемом (Volume), скоростью (Velocity), достоверностью (Veracity) и разнообразием (Variety). Преобразование четырех V в пятое V (Value – ценность) является задачей для скоростной обработки информации. Есть основание для введения термина «большие геоданные». С точки зрения перспективы наиболее многообещающей технологией обработки пространственно-временных данных являются параллельная *обработка*, кластерная обработка и потоковая обработка. Существующие достоинства и проблемы разработанных и реализованных алгоритмов обработки пространственных данных мотивируют проведение новых научных исследований. Параллельные вычисления – это новое направление в области наук о Земле, которое позволяет решать задачи сверхскоростной обработки больших пространственно-временных данных. Это дает основание говорить о больших пространственно-временных данных в области наук о Земле как об объективной проблеме, требующей решения. Большие пространственно-временные данные создают проблемы в обработке, но зато обеспечивают исчерпывающей информацией пользователей и аналитиков для принятия решений. Геоданные имеют большой жизненный цикл, в течение которого необходимо обеспечить длительное хранение и адекватное управление. Моделирование больших пространственно-временных данных отличается особенностью и техническими спецификациями. Параллельные вычисления помогают решать проблемы обработки больших данных и обеспечивают: обслуживание по требованию, широкополосный сетевой доступ, пул ресурсов, быструю эластичность и управленческую информацию.

Список литературы

1. Бахарева Н.А. Пространственная информация в региональном и муниципальном управлении // Государственный советник. – 2013. – № 4. – С. 39–42.
2. Буравцев А.В., Цветков В.Я. Облачные вычисления для больших геопространственных данных // Информация и космос. – 2019. – № 3. – С. 110–115.
3. Корячко В.П., Перепелкин Д.А. Анализ и проектирование маршрутов передачи данных в корпоративных сетях. – М.: Горячая линия-Телеком, 2012. – 236 с.
4. Космические исследования земных ресурсов. Методы и средства измерений и обработки информации. – М.: Наука, 1976. – 386 с.
5. Майоров А.А., Матерухин А.В. Концептуальная модель информационно-измерительной системы на базе распределенных сетей интеллектуальных геосенсоров // Измерительная техника. – 2018. – № 5. – С. 26–31.
6. Майоров А.А., Матерухин А.В., Кондауров И.Н. Структура системы обработки потоковых данных в геосенсорных сетях // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2018. – Т. 62, № 6. – С. 712–719. – DOI: 10.30533/0536-101X-2018-62-6-712-719.
7. Майоров А.А., Цветков В.Я. Геоинформатика как важнейшее направление развития информатики // Информационные технологии. – 2013. – № 11. – С. 2–7.
8. Маркелов В.М., Цветков В. Я. Геомониторинг // Славянский форум. – 2015. – № 2 (8). – С. 177–184.
9. Номоконова О.Ю. Импакт анализ в медицинской диагностике. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 56 с.
10. Ожерельева Т.А. Геознания // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 5, ч. 4. – С. 669.
11. Омельченко А.С. Геоданные как инновационный ресурс // Качество, инновации, образование. – 2006. – № 1. – С. 12–14.
12. Савиных В.П. Информационные пространственные отношения // Образовательные ресурсы и технологии. – 2017. – № 1 (18). – С. 79–88.
13. Савиных В.П., Соловьёв И.В., Цветков В.Я. Развитие национальной инфраструктуры пространственных данных на основе развития картографо-геодезического фонда Российской Федерации // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2011. – № 5. – С. 85–91.
14. Савиных В.П., Цветков В.Я. Развитие методов искусственного интеллекта в геоинформатике // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – № 5. – С. 41–43.
15. Цветков В.Я. Дихотомический анализ сложности системы // Перспективы науки и образования. – 2014. – № 2 (8). – С. 15–20.

16. *Цветков В.Я.* Информационно-измерительные системы и технологии в геоинформатике. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 94 с.
17. *Цветков В.Я.* Методы и системы обработки и представления видеоинформации. – М.: ГКНТ: ВНИИ-Центр, 1991. – 113 с.
18. *Цветков В.Я.* Неявное знание и его разновидности // Вестник Мордовского университета. – 2014. – Т. 24, № 3. – С. 199–205.
19. *Цветков В.Я.* Отношение, связь, соответствие // Славянский форум. – 2016. – № 2 (12). – С. 272–276.
20. *Цветков В.Я.* Перспективы применения методов параллельного программирования в топографо-геодезическом производстве // Обзорная информация. – М.: ЦНИИГАиК, 1986. – 49 с.
21. *Adve S. et al.* Parallel Computing Research at Illinois: The UPCRC Agenda. White Paper. – IL: University of Illinois, Urbana-Champaign, 2008.
22. *Barmin I.V., Kulagin V.P., Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya.* Near Earth Space as an Object of Global Monitoring // Solar System Research. – 2014. – Vol. 48, No. 7. – P. 531–535. – DOI: 10.1134/S003809461407003X.
23. *Fischer J.R. et al.* Applications of the massively parallel machine, the MasPar MP-1, to Earth sciences // Earth and Atmospheric Remote Sensing. – International Society for Optics and Photonics. – 1991. – Vol. 1492. – P. 229–238.
24. *Hein R., Crutzen P.J., Heimann M.* An inverse modeling approach to investigate the global atmospheric methane cycle // Global Biogeochemical Cycles. – 1997. – Vol. 11, No. 1. – P. 43–76.
25. *Lee J.G. & Kang M.* Geospatial Big Data: Challenges and opportunities // Big Data Research. – 2015. – No. 2 (2). – P. 74–81.
26. *Lohr S.* The age of big data // The New York Times. – 2012. – Vol. 11.
27. *Lynch C.* Big data: How do your data grow? // Nature. – 2008. – Vol. 455, No. 7209. – P. 28, 29.
28. *Morley C.V. et al.* Forward and inverse modeling of the emission and transmission spectrum of GJ 436b: investigating metal enrichment, tidal heating, and clouds // The Astronomical Journal. – 2017. – Vol. 153, No. 2. – P. 86.
29. *Quénol H. et al.* Which climatic modeling to assess climate change impacts on vineyards? // OENO One. – 2017. – Vol. 51, No. 2.
30. *Savinykh V.P. and Tsvetkov V.Ya.* Geodata As a Systemic Information Resource // Herald of the Russian Academy of Sciences. – 2014. – Vol. 84, No. 5. – P. 365–368. – DOI: 10.1134/S1019331614050049.
31. *Tsvetkov V.Ya.* Dichotomous Systemic Analysis // Life Science Journal. – 2014. – No. 11 (6). – P. 586–590.
32. *Yang C., Raskin R., Goodchild M. & Gahegan M.* Geospatial cyberinfrastructure: past, present and future // Computers, Environment and Urban Systems. – 2010. – No. 34 (4). – P. 264–277.

References

1. *Bahareva N.A.* Prostranstvennaya informatsiya v regional'nom i municipal'nom upravlenii // Gosudarstvennyj sovetnik. – 2013. – № 4. – С. 39–42.
2. *Buravcev A.V., Cvetkov V.Ya.* Oblachnye vychisleniya dlya bol'shih geoprostranstvennykh dannykh // Informatsiya i kosmos. – 2019. – № 3. – С. 110–115.
3. *Koryachko V.P., Perepelkin D.A.* Analiz i proektirovanie marshrutov peredachi dannykh v korporativnykh setyah. – М.: Goryachaya liniya-Telekom, 2012. – 236 с.
4. *Kosmicheskie issledovaniya zemnykh resursov. Metody i sredstva izmerenij i obrabotki informatsii.* – М.: Nauka, 1976. – 386 с.
5. *Majorov A.A., Materuhin A.V.* Konceptual'naya model' informacionno-izmeritel'noj sistemy na baze raspredelennykh setej intellektual'nykh geosensorov // Izmeritel'naya tekhnika. – 2018. – № 5. – С. 26–31.
6. *Majorov A.A., Materuhin A.V., Kondaurov I.N.* Struktura sistemy obrabotki potokovykh dannykh v geosensornykh setyah // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Geodeziya i aerofotos'emka. – 2018. – Т. 62, № 6. – С. 712–719. – DOI: 10.30533/0536-101X-2018-62-6-712-719.
7. *Majorov A.A., Cvetkov V.Ya.* Geoinformatika kak vazhneyshee napravlenie razvitiya informatiki // Informacionnye tekhnologii. – 2013. – № 11. – С. 2–7.
8. *Markelov V.M., Cvetkov V.Ya.* Geomonitoring // Slavyanskij forum. – 2015. – № 2 (8). – С. 177–184.
9. *Nomokonova O.Yu.* Impakt analiz v medicinskoj diagnostike. – М.: МАКС Press, 2016. – 56 с.

10. *Ozherel'eva T.A.* Geoznaniya // *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij.* – 2016. – № 5, ch. 4. – С. 669.
11. *Omel'chenko A.S.* Geodannye kak innovacionnyj resurs // *Kachestvo, innovacii, obrazovanie.* – 2006. – № 1. – С. 12–14.
12. *Savinyh V.P.* Informacionnye prostranstvennye otnosheniya // *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii.* – 2017. – № 1 (18). – С. 79–88.
13. *Savinyh V.P., Solov'yov I.V., Cvetkov V.Ya.* Razvitie nacional'noj infrastruktury prostranstvennyh dannyh na osnove razvitiya kartografo-geodezicheskogo fonda Rossijskoj Federacii // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geodeziya i aerofotos'emka.* – 2011. – № 5. – С. 85–91.
14. *Savinyh V.P., Cvetkov V.Ya.* Razvitie metodov iskusstvennogo intellekta v geoinformatike // *Transport Rossijskoj Federacii.* – 2010. – № 5. – С. 41–43.
15. *Cvetkov V.Ya.* Dihotomicheskij analiz slozhnosti sistemy // *Perspektivy nauki i obrazovaniya.* – 2014. – № 2 (8). – С. 15–20.
16. *Cvetkov V.Ya.* Informacionno-izmeritel'nye sistemy i tekhnologii v geoinformatike. – М.: MAKS Press, 2016. – 94 с.
17. *Cvetkov V.Ya.* Metody i sistemy obrabotki i predstavleniya videoinformacii. – М.: GKNT: VNTICentr, 1991. – 113 с.
18. *Cvetkov V.Ya.* Neyavnoe znanie i ego raznovidnosti // *Vestnik Mordovskogo universiteta.* – 2014. – Т. 24, № 3. – С. 199–205.
19. *Cvetkov V.Ya.* Otnoshenie, svyaz', sootvetstvie // *Slavyanskij forum.* – 2016. – № 2 (12). – С. 272–276.
20. *Cvetkov V.Ya.* Perspektivy primeneniya metodov parallel'nogo programmirovaniya v topografo-geodezicheskom proizvodstve // *Obzornaya informaciya.* – М.: CNIIGAiK, 1986. – 49 с.
21. *Adve S. et al.* Parallel Computing Research at Illinois: The UPCRC Agenda. White Paper. – IL: University of Illinois, Urbana-Champaign, 2008.
22. *Barmin I.V., Kulagin V.P., Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya.* Near_Earth Space as an Object of Global Monitoring // *Solar System Research.* – 2014. – Vol. 48, No. 7. – P. 531–535. – DOI: 10.1134/S003809461407003X.
23. *Fischer J.R.* Applications of the massively parallel machine, the MasPar MP-1, to Earth sciences // *Earth and Atmospheric Remote Sensing.* – International Society for Optics and Photonics. – 1991. – Vol. 1492. – P. 229–238.
24. *Hein R., Crutzen P.J., Heimann M.* An inverse modeling approach to investigate the global atmospheric methane cycle // *Global Biogeochemical Cycles.* – 1997. – Vol. 11, No. 1. – P. 43–76.
25. *Lee J.G. & Kang M.* Geospatial Big Data: Challenges and opportunities // *Big DataResearch.* – 2015. – No. 2 (2). – R. 74–81.
26. *Lohr S.* The age of big data // *The New York Times.* – 2012. – Vol. 11.
27. *Lynch C.* Big data: How do your data grow? // *Nature.* – 2008. – Vol. 455, No. 7209. – P. 28, 29.
28. *Morley C.V. et al.* Forward and inverse modeling of the emission and transmission spectrum of GJ 436b: investigating metal enrichment, tidal heating, and clouds // *The Astronomical Journal.* – 2017. – Vol. 153, No. 2. – P. 86.
29. *Quénol H. et al.* Which climatic modeling to assess climate change impacts on vineyards? // *OENO One.* – 2017. – Vol. 51, No. 2.
30. *Savinykh V.P. and Tsvetkov V.Ya.* Geodata As a Systemic Information Resource // *Herald of the Russian Academy of Sciences.* – 2014. – Vol. 84, No. 5. – P. 365–368. – DOI: 10.1134/S1019331614050049.
31. *Tsvetkov V.Ya.* Dichotomous Systemic Analysis // *Life Science Journal.* – 2014. – No. 11 (6). – R. 586–590.
32. *Yang C., Raskin R., Goodchild M. & Gahegan M.* Geospatial cyberinfrastructure: past, present and future // *Computers, Environment and Urban Systems.* – 2010. – No. 34 (4). – P. 264–277.