

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Савиных Виктор Петрович,

*доктор технических наук, профессор, Президент Московского государственного университета геодезии и картографии, Член-корреспондент РАН, Летчик-космонавт, Дважды Герой Советского союза, Лауреат государственной премии, Лауреат премии Президента РФ, Дважды Лауреат премии Правительства РФ, «Заслуженный деятель высшей школы», «Почетный работник науки и техники», «Заслуженный геодезист», Академик Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского (РАКЦ), Академик Инженерной Академии, Академик Международной Академии астронавтики, Академик Международной академии наук Евразии, Московский государственный университет геодезии и картографии,
Москва, Горюховский пер., 4, Россия,
e-mail: president@miigaik.ru*

Статья описывает геоинформационное моделирование, применяемое при исследовании космического пространства. Описана интеграция земных наук с космическими исследованиями. Описаны особенности геоинформационного моделирования, которые могут применяться в космических исследованиях. Дано сравнение информационного моделирования и геоинформационного моделирования при космических исследованиях. Показано преимущество геоинформационного моделирования в части большей систематизации и детализации пространственной информации. Статья раскрывает содержание ситуационного пространственного моделирования. Статья описывает визуальное геоинформационное моделирование как обязательную функцию при космических исследованиях.

Ключевые слова: прикладная геоинформатика, космические исследования, геоинформационное моделирование, информационное моделирование, геоданные, пространственные модели, визуализация информации

Введение

Космические исследования являются важным средством исследования окружающего мира [1; 2]. Современные космические исследования связаны с применением «земных» наук геоинформатики, географии, геодезии. Существует и применяется космическая геодезия и космическая география и даже геодезическая астрономия [3]. Возникло новое направление космическая геоинформатика [4; 5]. Геоинформатика как наука, интегрирует науки о Земле, включая космическую геодезию. Космическая геоинформатика, с одной стороны, служит средством интеграции наук, с другой – требует развития новых методов анализа, обусловленных новыми задачами и требованиями. Естественно, что, геоинформационное моделирование как основной метод геоинформатики, может использоваться в космической геоинформатике, то есть в космических исследованиях. Особенностью геоинформационного моделирования в космических исследованиях является комплексный подход к исследованию космического пространства и специфическая интеграция данных. Этим космическая геоинформатика и геоинформационное моделирование обеспечивают на уровне данных сопоставимость и анализ.

На уровне технологий космическая геоинформатика создает инструмент обработки космической информации большим набором средств ГИС и геоинформатики. Принципиальным и важным является то, что геоинформационное моделирование включает широкий набор координатных преобразований. Координатные преобразования важны при космических исследованиях поскольку космические объекты фиксируются в разных системах по мере их приближения к Земле. Таким образом, геоинформационное моделирование применимо к работе с космической информацией с учетом ее специфики. Существует тенденция интеграции геоинформатики и методов дистанционного зондирования [6]. Это служит еще одним аргументом в пользу применения геоинформационного моделирования при космических исследованиях.

Материалы и методы

В качестве материала применялись существующие методы геоинформатики, космической геоинформатики и методы исследования космического пространства, а также существующие методы моделирования и информационного моделирования. В качестве методов применялись системный и качественный анализ.

Принципы геоинформационного моделирования

Геоинформационное моделирование как метод научного познания [7–9] представляет собой совокупность процессов построения моделей и действия с моделями. Геоинформационное моделирование в узком смысле рассматривают как работу с геоинформационными и цифровыми пространственными моделями. Геоинформационное моделирование в широком смысле рассматривают как работу с информационными, интеллектуальными, геоинформационными и пространственными моделями. При космических исследованиях применяют геоинформационное моделирование в широком смысле. То есть включают набор методов анализа и моделирования, которые в земной геоинформатике не встречаются.

Геоинформационное моделирование создает возможность переноса результатов, полученных в ходе космических исследований на земные модели и накопленный опыт моделирования. Моделирование не только одно из средств отображения явлений и процессов реального мира, но и объективный практический критерий проверки истинности знаний. Геоинформационное моделирование позволяет получать пространственные знания и геознания [10; 11].

Целью моделирования является либо «объяснение того, что есть», либо «прогнозирование того, что будет». Моделирование позволяет с меньшими затратами воссоздать процессы взаимодействия реального объекта и внешней среды и выявить критерии оптимизации этого взаимодействия [12]. Основной моделирования являются модели. На рисунке 1 приведена схема информационного моделирования при космических исследованиях.

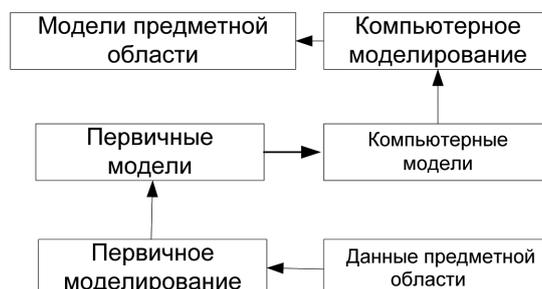


Рисунок 1 – Схема информационного моделирования при космических исследованиях

При таком моделировании данные предметной области преобразуют в первичные модели, которые затем используют при компьютерной обработке. На основе обработки по заданным алгоритмам и при семантическом моделировании получают модели предметной области для решения прикладных задач [13; 14]. Эти модели отличает узкая специализация и порой плохая сопоставимость. Данные предметной области преобразуют в модели предметной области, что задает специфику, отражающую особенности предметной области. Для информационного моделирования все данные равнозначны и представляют совокупность вида

$$D(A1, A2, A3, \dots, An).$$

Здесь D – данные, A – качественно однородные группы данных. В результате обработки получают специализированные наборы данных как описание объектов, явлений, процессов для каждой предметной области

На рисунке 2 приведена схема геоинформационного моделирования при космических исследованиях.

В этом моделировании первичные модели заменяются на геоданные, которые создают на основе типизации по трем группам: место, время, тема. После этого данные систематизируют и стратифицируют. В результате геоданные (рисунок 2) изначально становятся системным информационным ресурсом [15; 16], в сравнении с первичными моделями в информационном моделировании (рисунок 1).

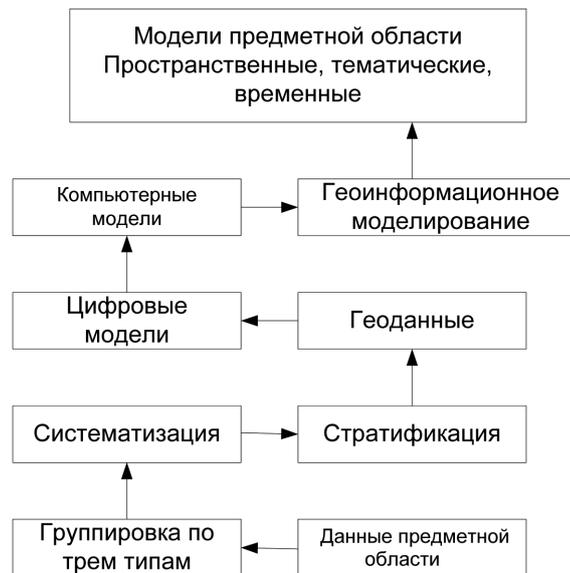


Рисунок 2 – Схема геоинформационного моделирования при космических исследованиях

Геоданные более структурированы, чем данные при информационном моделировании. Они изначально содержат три группы и имеют вид:

$$GD = \Phi \{ (C_1, C_2, \dots, C_n), (Pt_1, Pt_2, \dots, Pt_m), (A_1, A_2, \dots, A_l) \} \quad (1)$$

Здесь C_i – совокупность координатных (пространственных) параметров ($i=1 \dots n$); Pt_i – совокупность временных параметров ($i=1 \dots m$); A_i – совокупность тематических характеристик ($i=1 \dots k$).

Для дальнейшей обработки из геоданных строят цифровые модели объектов, явлений, процессов и ситуаций [17–20]. Эти цифровые модели поступают в компьютерную обработку, которая может быть включена в геоинформационное моделирование либо выполняться независимо. В результате получают три группы моделей предметной области, каждая из которых связана с пространством, временем или тематическими характеристиками. Это существенно упрощает анализ и применение таких моделей.

Процесс информационного моделирования [12] формально отражается следующим образом

$$O \rightarrow ПМ \rightarrow КМ_1 \rightarrow МПО, \quad (2)$$

где O – объект исследования; $ПМ$ – первичная модель; $КМ$ – компьютерное моделирование; $МПО$ – модель предметной области (космические исследования).

Процесс геоинформационного моделирования более сложный и имеет следующий вид.

$$O \rightarrow ГД(M, B, T, Страт) \rightarrow ГМ (Сем, Топол, Систем) \rightarrow МПО (M, B, T, Сем, Топол, Систем, Страт) \quad (3)$$

где O – объект исследования; $ГД(M, B, T, Страт)$ – геоданные; $ГМ (Сем, Топол, Систем)$ – геоинформационное моделирование; $МПО$ – модель предметной области (космические исследования).

На уровне геоданных данные группируются по трем типам и стратифицируются (*Страт*), что существенно упрощает обработку. На уровне геоинформационного моделирования в модель включается семантика (*Сем*), топология (*Топол*) и системность (*Систем*). Таким образом при геоинформационном моделировании результат моделирования более сопоставим и более упорядочен в сравнении с информационным моделированием.

Геоинформационное ситуационное моделирование

Ситуационно моделирование отличается тем, что исследует не отдельный объект, а группу взаимодействующих объектов в некой ситуации [21–23]. Поскольку геоинформатика изучает пространственные ситуации, то геоинформационное ситуационное моделирование чаще связано с пространственными ситуациями и исследованием динамики объектов в пространстве. Это свойство очень важно для космических исследований, поскольку они часто связаны с исследованием подвижных объектов.

Геоинформационное моделирование как обобщение моделирования в геоинформатике делится на две группы статистическое и ситуационное. Статистическое моделирование описывает различные статические ситуации. Ситуационное моделирование применяется для анализа динамики ситуаций.

Геоинформационное ситуационное моделирование рассматривает в качестве объекта исследований комплекс качественно разных, но связанных между собой, объектов. Оно включает исследование и моделирование как минимум трех компонент как зависимых сложных систем: объекта исследования; среды вокруг объекта; системы отношений и вытекающих из них связей «объект–среда». Поэтому для понимания специфики ситуационного моделирования необходимо учитывать пространственные отношения.

При ситуационном пространственном моделировании пространственные отношения играют доминирующую роль как инструмент описания именно ситуации, в которой находится объект моделирования или группа объектов. Пространственные отношения задают описание начальной ситуации и определяют динамику ее развития. Связи «объект–среда», которые были упомянуты выше, в геоинформатике задают именно пространственные отношения. Следует подчеркнуть, что пространственные отношения не эквивалентны связям, а только задают условия для их возникновения, существования и развития. Особенность ситуационного моделирования в том, что во внимание принимается объект моделирования и окружающая его микроситуация или микросреда. Совокупность развития ситуаций образует сценарий.

Ситуационное моделирование предполагает моделирование объектов, как связанных и зависимо меняющихся систем. При визуализации такого моделирования аналогом будет видеофильм или видеозапись. Структурно ситуационное геоинформационное моделирование опирается на ряд специализированных моделей (рисунок 3).

Основой ситуационного моделирования является предварительное создание языка моделирования, то есть создание различных информационных единиц. Это могут быть: графические информационные единицы, единицы информационного взаимодействия, единицы коммуникационного обмена, структурные информационные единицы и графические семантические единицы [24; 25].

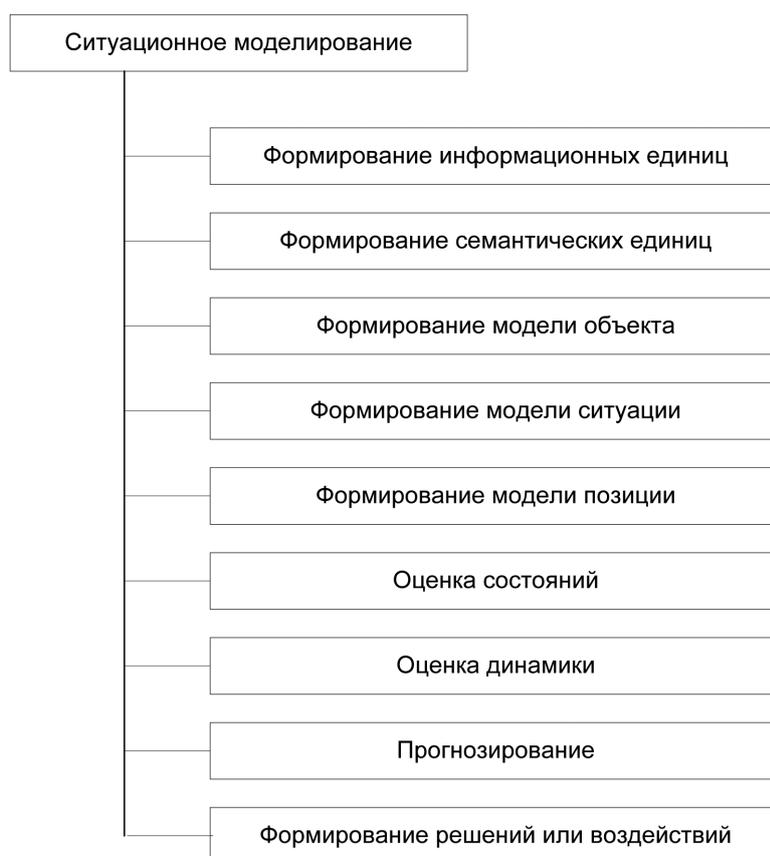


Рисунок 3 – Этапы ситуационного геоинформационного моделирования [23]

На основе информационных единиц формируются составные информационные модели объекта и ситуации [24; 26–28]. Понятие ситуации и позиции используется широко [29]. Например ситуация и позиция в одном пространстве. Это может быть пространственная ситуация и пространственная позиция, экономическая ситуация и экономическая позиция, экологическая ситуации и экологическая позиция.

Возможны комбинации ситуаций и позиций. Например, пространственная ситуация и экономическая позиция. Другой пример, пространственная ситуация плюс экологическая ситуация плюс пространственная позиция и экономическая позиция. В целом такие комбинации создают основу геоинформационного ситуационного моделирования. В геоинформатике информационная модель ситуации ISMg имеет вид:

$$ISMg = \Phi\{(C1, C2, \dots Cn), (Pt1, Pt2, \dots Ptm), (A1, A2, \dots Al)\}. \quad (4)$$

Здесь C_i – совокупность координатных (пространственных) параметров ($i=1 \dots n$); Pt_i – совокупность временных параметров ($i=1 \dots m$); A_i – совокупность тематических характеристик ($i=1 \dots k$).

При ситуационном моделировании всегда ставится определенная цель. Наличие в модели параметров, необходимых для достижения данной цели T1 дает основание считать такую модель информационной ситуацией – полной по задаче (цели) T1 и ситуацию моделируемой.

$$ISMg = \Phi_{\rightarrow T1}$$

Модель (4) является открытой и ряд параметров можно дополнять. Для каждого из информационно определяемых параметров «А» должен существовать справочник кодов или классификатор. Это приводит к онтологиям и сближает геоинформационное ситуационное моделирование с технологиями получения знаний.

В целом геоинформационное моделирование в совокупности с информационным подходом и информационным моделированием служит источником получения новых знаний. На основе этих моделей осуществляют прогноз и выработку управленческих решений

Ситуационное геоинформационное моделирование включает три компонента: 1) задание и определение пространственных отношений как основы моделирования и развития событий; 2) определение модели микросреды, которая задает ситуацию; 3) определение модели объекта с учетом связей и отношений с микросредой и макросредой.

Ситуационное геоинформационное моделирование создает в итоге новые информационные ресурсы и новые знания. Оно позволяет решать широкий круг задач, который с помощью иных методов моделирования решить нельзя. Особое значение ситуационного моделирования в том, что оно используется при поддержке принятия решений, при управлении подвижными объектами. Оно входит в интеллектуальные транспортные системы и интеллектуальные логистические системы. Структура модели информационной ситуации приведена на рисунке 4.

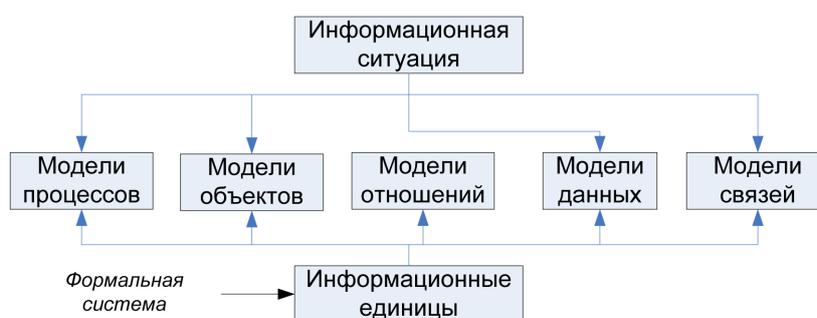


Рисунок 4 – Структура модели информационной ситуации при геоинформационном моделировании

Если сравнивать исходную ситуацию (Sit) и информационную ситуацию (ISit) при геоинформационном моделировании, то получится следующее отношение:

$$Sit(O(n), R, Pe, Pn, struc) \rightarrow ISit(O(m), Re, Pe, istruc, pos(i), Super(k)) \quad (5)$$

Здесь: $O(n)$ – n – объектов, включенных в ситуацию; R связи между объектами; Pe – существенные параметры в ситуации; Pn – несущественные параметры в ситуации; $struc$ – структура, которую образуют объекты в ситуации.

Информационная ситуация характеризуется следующим набором параметров. $O(m)$ – m – объектов, включенных в информационную ситуацию; Re – существенные связи между объектами; Pe – существенные параметры в ситуации; $istruc$ – структура, которую образуют объекты в информационной ситуации. Новыми параметрами являются $pos(i)$ – информационная позиция i -го объекта в ситуации, $Super(k)$ – информационное преимущество k -го объекта в ситуации [30]. В информационной ситуации

появились в явном виде новые параметры – позиция объекта и его преимущество по заданному критерию. Например, оптимальный маршрут движения транспортного средства имеет информационное преимущество перед другими маршрутами.

Геоинформационное моделирование космического пространства

Космическое пространство с точки зрения координирования представляет систему вложенных пространств, приведенную на рисунке 5.

В работах [31; 32] даны границы некоторых из приведенных на рисунке 5 пространств. Следует отметить тенденцию смещения границы околоземного пространства, что обусловлено освоением космического пространства.

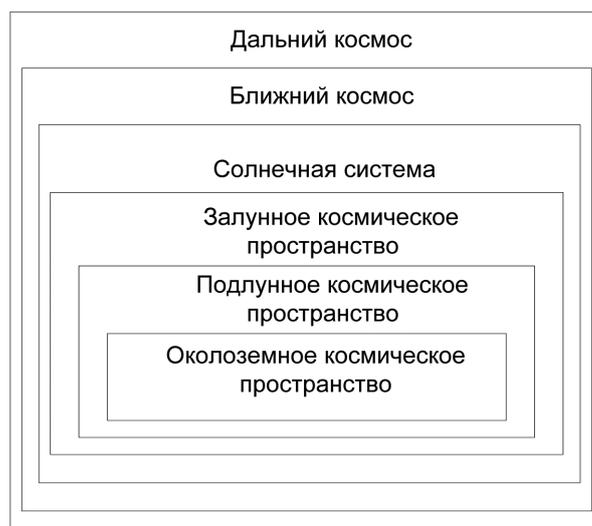


Рисунок 5 – Структурная вложенность космических пространств

Говоря о познании окружающего мира, следует отметить процедуру наблюдения. В космических исследованиях функции наблюдения выполняет глобальный космический мониторинг [32]. Кроме процедуры наблюдения в процессах познания используют сравнение. Одну из функций сравнения в космических исследованиях выполняет сравнительная планетология.

Важным свойством геоинформационного моделирования является возможность визуального представления результатов исследования и моделирования. Это становится возможным благодаря применению геоданных и стратификации информации. Визуальные геоинформационные модели подразделяют на статические и динамические. В космических исследованиях чаще используют динамические визуальные модели, которые представляют в статической форме для простоты изучения.

По размерности геоинформационные визуальные модели делятся на плоские (2D), квазиобъемные (2,5D) и трехмерные (3D). В аспекте цвета моделей выделяют следующие функции: контроль пороговых значений, цветопередачу объектов и цветопередачу характеристик. Визуальные геоинформационные модели в космических исследованиях выполняют три функции, позиционную, индикационную, знаковую.

Знаковая функция в космических исследованиях заключается в указании значения объекта (типа, класса, опасность).

Позиционная функция заключается в указании места в космическом пространстве, в котором находится или перемещается объект.

Индикационная функция заключается в указании важного свойства объекта. Например, особо опасный космический объект, объект для которого велика вероятность столкновения с поверхностью Земли [33].

Визуальная геоинформационная модель передает большее количество информации по сравнению с текстом и цифрой, что определяет их преимущества в аналитическом и ассоциативном анализе. Визуальная геоинформационная модель в равной степени применима к космическим объектам и к наземным объектам. Выделяют три вида программных средств создания визуальных геоинформацион-

ных моделей. Первый вид включает методы построения. Второй вид включает методы композиции существующих визуальных моделей. Третий вид включает методы репрезентации моделей первого и второго вида с возможностью сценарного моделирования.

Заключение

Современные космические исследования дополняют наземные исследования и в комплексе являются важным средством построения научной картины мира [1]. Современные космические исследования включают с применением «земных» наук геоинформатики, геологии, географии, геодезии [3; 4]. Это с большим основанием дает возможность применения геоинформационного моделирования для космических исследований. Например, космический мониторинг в своей основе содержит геоинформационный мониторинг [34]. Геоинформационное моделирование дает возможность комплексного исследования явлений и процессов и позволяет осуществлять междисциплинарный перенос знаний. Геоинформационное моделирование дает возможность применять комплексный подход [35] к исследованию и интерпретации информации космического пространства. Геоинформационное моделирование обеспечивает сопоставимость данных, получаемых при космических исследованиях. Геоинформационные модели являются инструментом исследования окружающего пространства и в этом их преимущество перед другими моделями. Как метод познания геоинформационное моделирование в космических исследованиях служат инструментом извлечения знаний из космического пространства. В социальном плане геоинформационное моделирование в космических исследованиях служит средством обеспечения безопасности человечества от космических угроз [33].

Список литературы

1. *Савиных В.П.* Космические исследования как средство формирования картины мира // Перспективы науки и образования. – 2015. – №1. – С. 56–62.
2. *Tsvetkov V.Ya.* Worldview Model as the Result of Education // World Applied Sciences Journal. – 2014. – № 31 (2). – P. 211–215.
3. *Господинов Г.С.* Геодезическая астрономия и космическая геоинформатика // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – № 1(1). – С. 45–50.
4. *Савиных В.П.* Развитие космической геоинформатики // Славянский форум. 2016. – № 2(12). – С. 223–230.
5. *V.G. Bondur, V.Ya. Tsvetkov.* New Scientific Direction of Space Geoinformatics // European Journal of Technology and Design. – 2015. – № 4. – Vol. 10. – Is. 4. – Pp. 118–126. DOI: 10.13187/ejtd.2015.10.118 www.ejournal4.com.
6. *Савиных В.П., Цветков В.Я.* Особенности интеграции геоинформационных технологий и технологий обработки данных дистанционного зондирования // Информационные технологии. – 1999. – № 10. – С. 36–40.
7. *Розенберг И.Н.* Геоинформационная модель // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – №5. – Ч. 4. – С. 675–676.
8. *Чехарин Е.Е.* Геоинформационное исследование окружающего мира // Славянский форум. – 2015. – № 2(8). – С. 327–335.
9. *Булгаков С.В.* Особенности геоинформационного моделирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 3. – С. 77–80.
10. *Розенберг И.Н., Вознесенская М.Е.* Геознания и геореференция // Вестник Московского государственного областного педагогического университета. – 2010. – № 2. – С. 116–118.
11. *Кулагин В.П., Цветков В.Я.* Геознание: представление и лингвистические аспекты // Информационные технологии. – 2013. – № 12. – С. 2–9.
12. *Охотников А.Л.* Информационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – № 2(2). – С. 60–75.
13. *Лотоцкий В.Л.* Пространственное информационное моделирование // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – № 3 (15). – С. 114–122. DOI: 10.21777/2312-5500-2016-3-114-122.
14. *Дешко И.П.* Информационный подход в моделировании // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – № 5 (17). – С. 21–26.

15. *V.P. Savinykh and V.Ya. Tsvetkov.* Geodata As a Systemic Information Resource. Herald of the Russian Academy of Sciences. – 2014. – Vol. 84. – No. 5. – Pp. 365–368. DOI: 10.1134/S1019331614050049.
16. *Омельченко А.С.* Геоданные как инновационный ресурс // Качество, инновации, образование. – 2006. – №1. – С. 12–14.
17. *Замышляев А.М.* Эволюция цифрового моделирования // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – № 1(1). – С. 82–91.
18. *Цветков В.Я.* Цифровые карты и цифровые модели // Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – № 2. – С. 147–155.
19. *Куприянов А.О.* Цифровое моделирование при подземных геодезических работах // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. – № 4 (12). – С. 57–65.
20. *Павлов А.И.* Цифровое моделирование пространственных объектов// Славянский форум. – 2015. – № 4(10). – С. 275–282.
21. *Markelov V.M.* Situational Modeling in Logistics // European Journal of Economic Studies. – 2013. – Vol. (6). – № 4. – P. 204–209.
22. *Коваленков Н.И.* Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. – № 2. – С. 42–46.
23. *Цветков В.Я.* Ситуационное моделирование в геоинформатике // Информационные технологии. – 2014. – №6. – С. 64–69.
24. *I.N. Rozenberg.* Information Construction and Information Units in the Management of Transport Systems // European Journal of Technology and Design. – 2016. – Vol. (12). – Is. 2. – Pp. 54–62. DOI: 10.13187/ejtd.2016.12.54. URL: www.ejournal4.com.
25. *Докукин П.А.* Графические информационные единицы // Перспективы науки и образования. – 2015. – № 3. – С. 32–39.
26. *Tsvetkov V.Ya.* Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. Series A. – 2012. – Vol.(36). – № 12-1. – P. 2166–2170.
27. *Шайтура С.В.* Информационная ситуация в геоинформатике// Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – №5 (17). – С. 103–108.
28. *Павлов А.И.* Пространственная информационная ситуация // Славянский форум. – 2016. – № 4(14). – С. 198–203.
29. *Потанов А.С.* Информационная ситуация и информационная позиция в информационном поле // Славянский форум. – 2017. – № 1(15). – С. 283–289.
30. *Tsvetkov V.Ya.* Dichotomic Assessment of Information Situations and Information Superiority // European Researcher. Series A. – 2014. – Vol. (86). – № 11-1. – Pp. 1901–1909. DOI: 10.13187/er.2014.86.1901.
31. *Цветков В.Я.* Космический мониторинг: монография. – М.: МАКС Пресс, 2015. – 68 с.
32. *V. Barmin, V.P. Kulagin, V.P. Savinykh, V.Ya. Tsvetkov.* Near_Earth Space as an Object of Global Monitoring // Solar System Research. – 2014. – Vol. 48. – No. 7. – Pp. 531–535. DOI: 10.1134/S003809461407003X.
33. *Кулагин В.П.* Принципы создания системы мониторинга опасных небесных тел // Перспективы науки и образования. – 2015. – № 5. – С. 119–124.
34. *Цветков В.Я.* Геоинформационный мониторинг // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – № 5. – С. 151–155.
35. *Чехарин Е.Е.* Интерпретация космической информации при исследовании Земли // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. – № 2 (10). – С. 137–143.

GEOINFORMATION MODELING IN SPACE RESEARCHES

Savinych V.P.,

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
President of the Moscow State University
of Geodesy and Cartography,
Moscow, Russia,
e-mail: president@miigaik.ru*

The article describes geoinformation modeling used in the study of outer space. The article describes the integration of terrestrial sciences with cosmic research. The article describes the features of geoinformation modeling, which can be used in space research. The article compares information modeling and geoinformation modeling in space research. The article shows the advantage of geoinformation modeling in terms of more systematic and detailed spatial information. The article reveals the content of situational spatial modeling. The article describes visual geoinformation modeling as an obligatory function in space research.

Keywords: applied geoinformatics, space research, geoinformation modeling, information modeling, geodata, spatial models, information visualization