

# Комплекс программ имитационного моделирования однородных территориальных зон

## Program complex of similar territorial zones simulation modeling

**Ключевые слова:** геоинформационные системы – geoinformation systems; пространственный анализ – spatial analysis; имитационное моделирование – simulation modeling; многомерная кластеризация – multidimensional cluster analysis; однородные территориальные зоны – similar territorial zones.

Рассматриваются методические вопросы имитационного моделирования однородных территориальных зон с использованием методов многомерной автоматической кластеризации и пространственного анализа. Представлен комплекс программ имитационного моделирования, позволяющий строить модели однородных территориальных зон в условиях дефицита исходных экспериментальных данных. Представлены результаты численного исследования адекватности имитационной модели однородных зон мерзлоты на территории Западной Сибири.

The methodological questions of similar territorial zones simulation modeling using the multidimensional automated clustering and spatial analysis methods are considered. Program complex of simulation modeling that allows building a similar territorial zones model in situation of experimental data shortage is offered. The results of computation investigation of simulation model validity for similar permafrost zones in Western Siberia are presented.

### ВВЕДЕНИЕ

Существует широкий круг задач, связанных с выявлением пространственной структуры однородных по своим свойствам зон природных и природно-техногенных объектов или явлений, например – зон повышенного загрязнения, зон распространения различных популяций, зон заболеваемости опасными болезнями и т.д. Решение подобных задач осуществляется с использованием различных подходов к моделированию однородных

КОЧЕРГИН / KOCHERGIN G.

Глеб Александрович

(gak@uriit.ru)

старший научный сотрудник  
центра дистанционного зондирования Земли  
Югорского НИИ информационных технологий,  
Ханты-Мансийск

территориальных зон (ОТЗ) на основе пространственного анализа экспериментальных данных с применением технологий геоинформационных систем (ГИС-технологий). Современные ГИС включают большое число программных средств для создания, редактирования, преобразования и представления пространственных данных, а также функции тематической обработки данных о пространственно-распределенных объектах.

Во многих задачах данные об объектах исследования представлены многомерными массивами малого объема, которые содержат как пространственные, так и атрибутивные (измеренные) характеристики объектов. Измерения, как правило, проводятся в небольшом числе пунктов отбора проб, что связано, в первую очередь, с дороговизной проведения полевых исследований и труднодоступностью территорий. Современные геоинформационные системы обеспечивают возможности обработки и анализа пространственных данных, однако в них отсутствуют средства обработки данных, представленных многомерными массивами. Это делает актуальным разработку средств имитационного моделирования однородных территориальных зон на основе многомерных экспериментальных данных с возможностью отображения их на цифровых картах в ГИС, что и явилось целью настоящей работы.

### МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОДНОРОДНЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ЗОН

Известные подходы к моделированию однородных территориальных зон традиционно используют статистические методы анализа экспериментальных данных [1–3]. Другие подходы основаны на использовании интегрального показателя, рассчитанного на имеющейся совокупности

# ГЕОИНФОРМАТИКА

характеристик либо на одной-единственной характеристике объекта исследования [4–6]. Особенности использования существующих подходов к моделированию ОТЗ (требование соответствия выборки исходных данных нормальному закону распределения, необходимость использования обучающей выборки, требование наличия регулярной сети измерений) не позволяют применять их в условиях малого объема многомерных экспериментальных данных.

В настоящей работе предлагается использовать новый подход к моделированию однородных территориальных зон, основанный на сочетании методов многомерной кластеризации и пространственного анализа. На рисунке 1 представлена схема алгоритма построения имитационной модели однородных территориальных зон, реализуемого в условиях малого объема выборки экспериментальных данных. В представленном алгоритме можно выделить три основных этапа обработки многомерных данных:

1. Автоматическая кластеризация многомерных данных.
2. Преобразование результатов кластеризации в формат геоданных.
3. Построение модели однородных территориальных зон средствами ГИС.

## КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОДНОРОДНЫХ ТЕРРИОРИАЛЬНЫХ ЗОН

Для реализации представленного на рис. 1 алгоритма построения имитационной модели однородных территориальных зон был разработан комплекс программ, который позволяет создавать модели однородных зон на основе экспериментальных данных, представленных многомерными выборками малого объема. Разработанный комплекс программ имитационного моделирования однородных территориальных зон, структурная схема которого представлена на рис. 2, состоит из трех основных компонент: модуля многомерной кластеризации, модуля геопреобразования данных и подсистемы пространственного анализа.

**Модуль многомерной кластеризации** реализован в виде программы для персонального компьютера под управлением операционной системы Microsoft Windows и содержит 9 различных функций (алгоритмов) разбиения совокупности исследуемых объектов в многомерном пространстве признаков на однородные по своим непространственным характеристикам классы. В модуле также реализованы функции импорта многомерных массивов данных, графического отображения исходных данных и результатов кластеризации, экспорта

результатов кластеризации в файлы различных форматов, такие как MS Excel, MS Word, JPEG, BMP. Разработанная программа кластеризации многомерных данных зарегистрирована в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам [7].

**Модуль геопреобразования данных** представляет собой динамическую библиотеку, в которой реализован алгоритм преобразования результатов кластеризации в формат геоданных, пригодный для отображения, редактирования и последующей обработки в подсистеме пространственного анализа. Реализованные в нем функции преобразования обеспечивают поддержку в составе комплекса программ имитационного моделирования различных геоинформационных систем, таких как ArcGIS, ArcView и Golden Surfer.

В качестве подсистемы пространственного анализа в работе используется геоинформационная система ArcGIS 9.3, которая реализует функции ГИС-анализа, позволяет выявлять закономерности пространственного размещения объектов исследования и определять границы территориальных зон однородных объектов. Выбор этой геоинформационной системы обусловлен наличием мощных средств тематической обработки и отображения эмпирических данных и реализацией большого числа различных функций пространственного анализа данных.

**Экспериментальные данные** представляют собой набор пространственной и атрибутивной информации об объектах исследования. Атрибутивная информация содержит измеренные в ходе полевых исследований числовые характеристики объектов, сформированные в многомерный массив. Пространственная информация содержит данные о географических координатах пунктов отбора проб, их линейных или площадных размерах, взаимном расположении на территории исследования.

**Картографические данные** представляют собой набор цифровых карт территории исследования и космических снимков, используемых в геоинформационной системе в качестве картографической основы.

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АДЕКВАТНОСТИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОДНОРОДНЫХ ТЕРРИОРИАЛЬНЫХ ЗОН

Для исследования адекватности имитационной модели однородных территориальных зон были проведены численные эксперименты с использованием тестовой цифровой карты зон мерзлоты на территории Западной Сибири и массива экспериментальных данных [8], содержащего климатические и геокриологические данные,

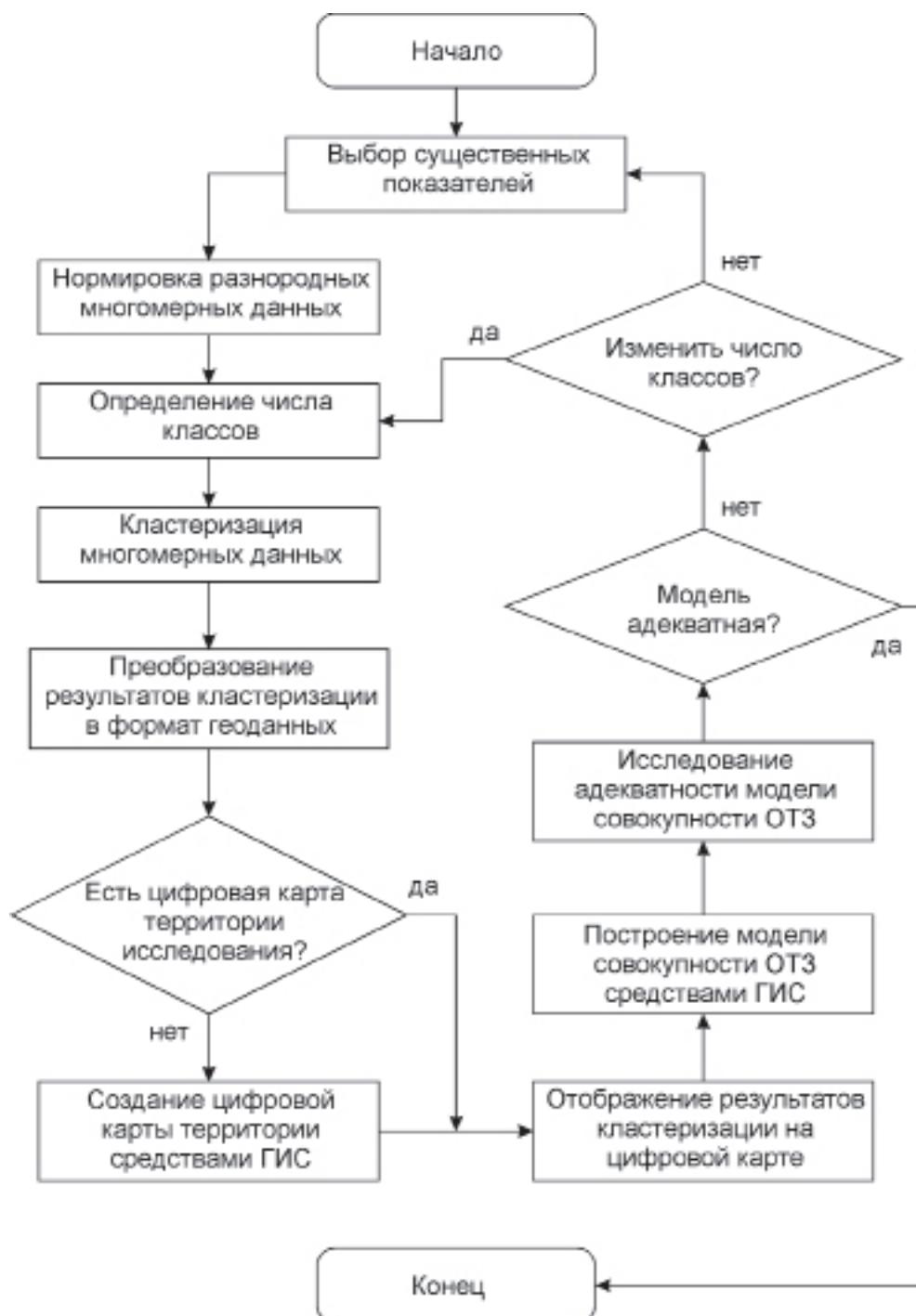


Рис. 1. Алгоритм построения имитационной модели однородных территориальных зон

# ГЕОИНФОРМАТИКА



Рис. 2. Структурная схема комплекса программ имитационного моделирования однородных территориальных зон

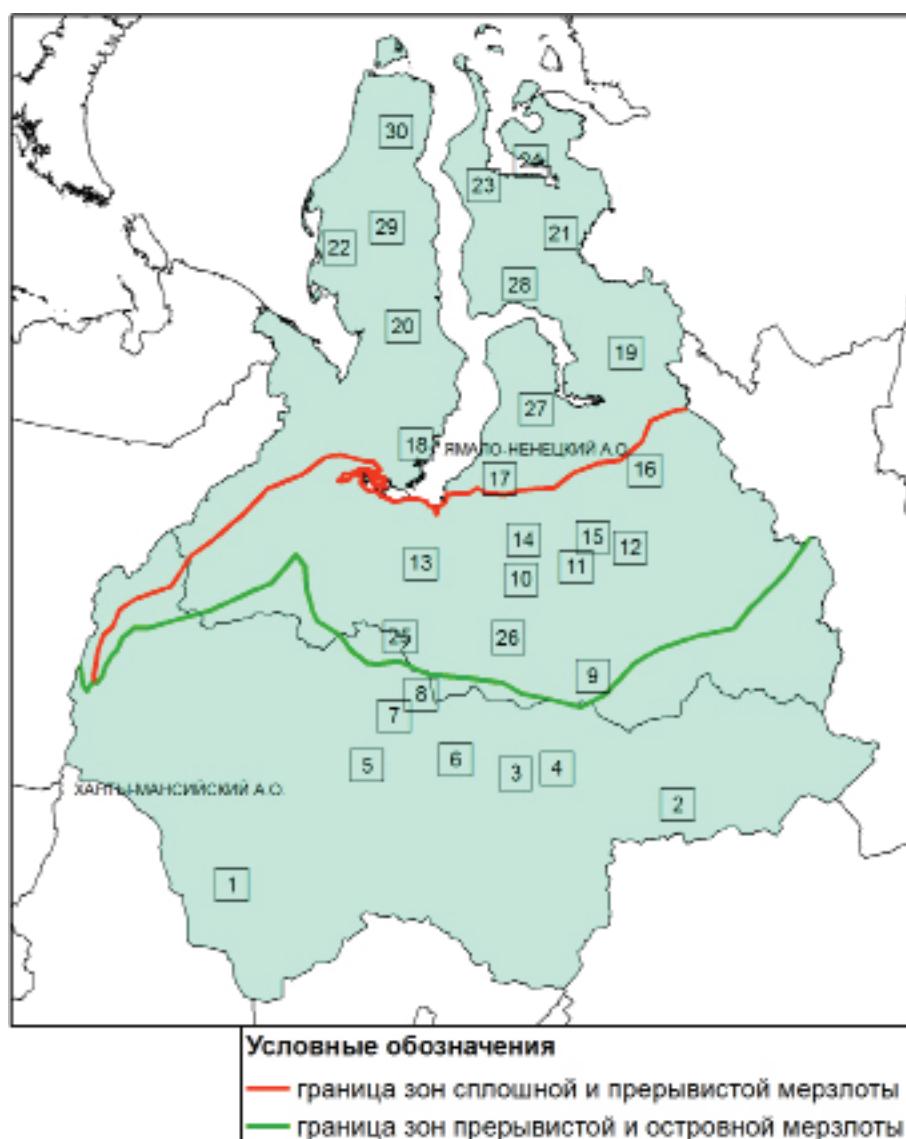


Рис. 3. Тестовая цифровая карта зон мерзлоты на территории Западной Сибири

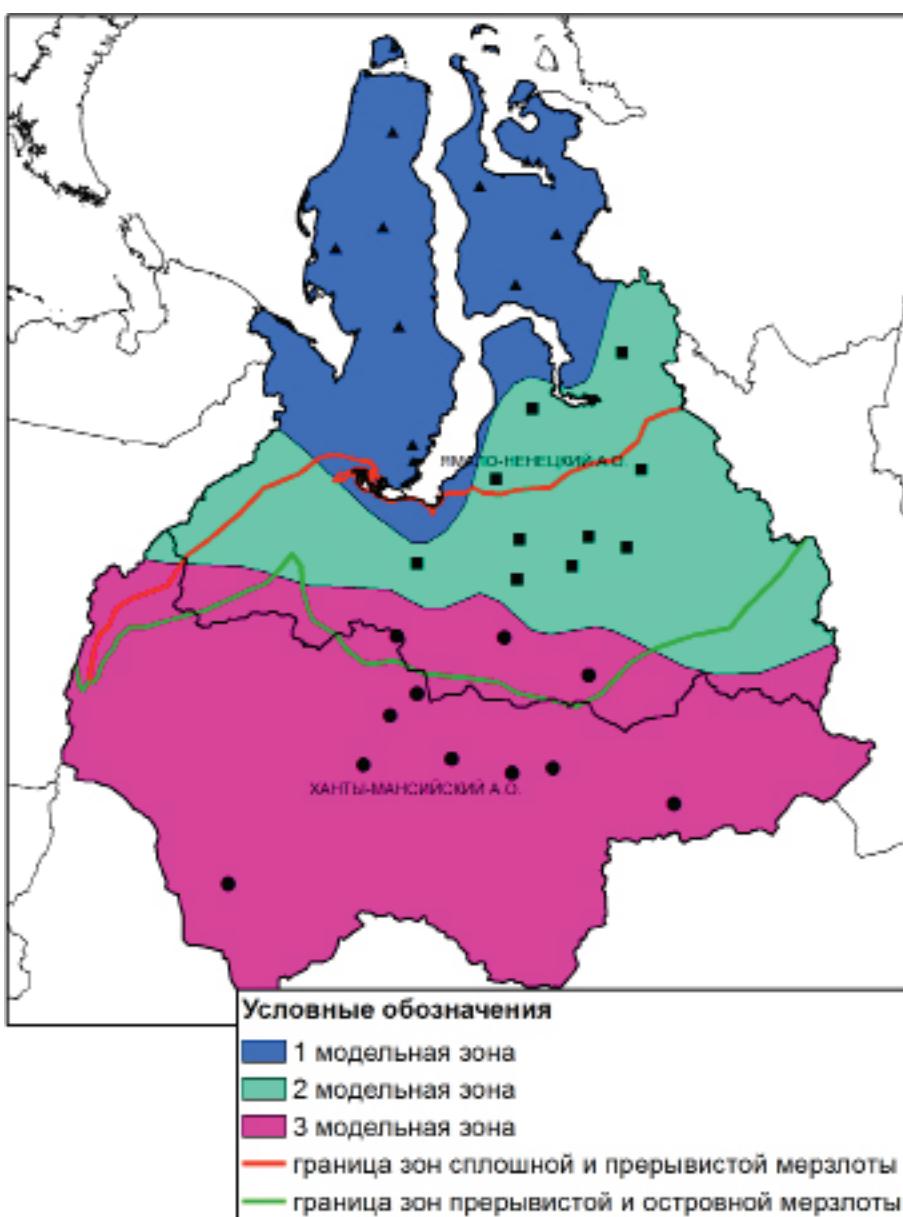


Рис. 4. Реализация модели трех однородных зон мерзлоты на территории Западной Сибири

измеренные для 30 тестовых участков, расположенных в разных зонах мерзлоты: сплошной, прерывистой и островной. Расположение тестовых участков и границы зон мерзлоты на территории Западной Сибири приведено на рис. 3. Массив экспериментальных данных состоит из трех показателей: среднелетняя температура воздуха (данные о температуре в теплые месяцы года, в которых среднемесячная температура была положительной величиной), годовая сумма осадков и суммарная площадь термокарстовых озер. Использованные в работе климатические данные получены в период

1973–2006 годов. Площади термокарстовых озер для каждого тестового участка определялись по космическим снимкам Landsat-7.

На основе описанной выше совокупности климатических и геокриологических данных с использованием комплекса программ имитационного моделирования была построена модель трех однородных зон мерзлоты (рис. 4) на территории Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов. Количество искомых зон, равное трем, было выбрано на основе имеющейся цифровой карты зон мерзлоты на территории Западной

# ГЕОИНФОРМАТИКА

Сибири (см. рис. 3), на которой в указанных административных границах представлены три зоны. Выделенные однородные зоны показаны на рис. 4 синим, бирюзовым и розовым цветом. Границы зон сплошной, прерывистой и островной мерзлоты на территории центральной части Западной Сибири, показаны на рис. 4 красной и зеленой линиями. Зона сплошной мерзлоты расположена к северу от красной линии, зона прерывистой мерзлоты – к югу от красной и к северу от зеленой линии, зона островной мерзлоты – к югу от зеленой линии.

Численное исследование адекватности модели трех однородных территориальных зон проводилось с использованием критерия достоверности, рассчитываемого по следующей формуле:

$$P_s = \min_i \left( \frac{S_{i\_mod} \cap S_{i\_mecm}}{S_{i\_mecm}} \right) * 100\%,$$

где  $S_{i\_mod}$  – площадь  $i$ -й модельной однородной территориальной зоны;  $S_{i\_mecm}$  – площадь однородной территориальной зоны на тестовой цифровой карте, соответствующей  $S_{i\_mod}$ ; знак  $\cap$  обозначает операцию пересечения соответствующих зон в геоинформационной системе.

Сравнение результатов моделирования однородных зон мерзлоты (см. рис. 4) с тестовой цифровой картой зон мерзлоты на территории Западной Сибири (см. рис. 3) позволило рассчитать значение критерия достоверности, который равен 72,7%. Таким образом, проведенное численное исследование показывает, что совпадение площадей модельной и тестовой однородных зон составляет более 70%, что в свою очередь, позволяет сделать вывод об адекватности построенной имитационной модели однородных территориальных зон.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье изложен новый подход к моделированию однородных территориальных зон в условиях малого объема экспериментальных данных. Основная идея предложенного подхода заключается в сочетании методов многомерной кластеризации и ГИС-анализа, проводимого средствами геоинформационных систем, что позволяет проводить более полный и всесторонний анализ путем учета всех имеющихся (как пространственных, так и статистических) данных об объектах исследования. Рассмотренный пример анализа массива экспериментальных данных показывает, что разработанный комплекс программ имитационного моделирования позволяет проводить автоматизированное зонирование территории по совокупности свойств исследуемых объектов и строить модели

однородных зон в условиях дефицита исходных данных с достаточно высокой степенью достоверности, что подтверждают результаты численного исследования адекватности построенной имитационной модели.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования и науки в рамках реализации государственного контракта № 07.524.12.4014.

## Литература

1. Тикунов В.С. Моделирование в картографии. – М.: Изд-во МГУ, 1997.
2. Сердюцкая Л.Ф., Яцишин А.В. Техногенная экология. Математико-картографическое моделирование. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009.
3. Royle J.A., Dorazio R.M. Hierarchical modeling and inference in ecology. – Elsevier Ltd., 2008.
4. Ковалева Т.М. Математическое моделирование очагов заражения клещевыми зоонозами на территории Алтайского края // Известия Алтайского государственного университета. – 2008. – № 1(57). – С. 58–62.
5. Тимонин С.А. Математико-картографическое и геоинформационное моделирование демографических процессов в регионах Российской Федерации // Вестник Московского университета. – Сер. 5. «География». – 2010. – № 5. – С. 11–18.
6. Кулик К.Н., Юрофеев В.Г. Компьютерное математико-картографическое моделирование агролесоландшафтов на основе аэрокосмической информации // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2010. – № 1. – С. 52–54.
7. Кочергин Г. А. Программный комплекс анализа многомерных данных с применением методов автоматической классификации // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005612705. Правообладатель – Институт химии нефти СО РАН. – № 2005612154, заявл. 18.08.2005 г., зарег. 18.10.2005 г.
8. Брыксина Н.А., Полищук В.Ю., Полищук Ю.М. Изучение взаимосвязи измерений климатических и термокарстовых процессов в зонах сплошной и прерывистой мерзлоты Западной Сибири // Вестник Югорского государственного университета. – 2009. – № 3 (14). – С. 3–12.