НАУКИ О ЗЕМЛЕ
GEOSCIENCE
journal

№ 3/2017

IN THE ISSUE:

COMPLEX ANALYSIS OF ARCTIC TERRITORIES

★

COMPARATIVE ANALYSIS OF NUMERICAL CRITERIA PERFORMANCE OF THE METHODS EVALUATING HAZARDOUS LANDSLIDE PROCESSES

★

STRUCTURAL - GENETIC ANALYSIS OF MIDDLE PALEOZOIC DEPOSITS (PADEY OF FORMATION) OF THE NORTH-EASTERN PART OF THE PAI-KHOI

★

CLASSIFICATION OF REMOTE SENSING IMAGERY BASED ON DENSITY AND FUZZY C-MEANS ALGORITHM

RUDN university

GeoScience

SCIENTIFIC JOURNAL

ISSN 2223-0831, Свидетельство Роскомнадзора Эл № Фс77-44805 от 29.04. 2011 ★ http://geo-science.ru, jornal@geo-science.ru

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ / EDITORIAL BOARD

Петр Докукин / Peter Dokukin
главный редактор, кандидат технических наук (Россия) / Chief Editor, PhD in Geodesy (Russia)

Владимир Владимиров / Vladimir Vladimirov
кандидат геолого-минералогических наук (Россия) / PhD in Geological and Mineralogical Science (Russia)

Иоаннис Гитас / Ioannis Gitas
PhD, профессор (Греция) / Head of Editorial Council, PhD in GIS (Greece)

Радим Гаретский / Radim Garetsky
академик РАН, академик НАН Беларуси, доктор геолого-минералогических наук, профессор (Республика Беларусь) / Academician of RAS, Academician of National Academy of Sciince of Belarus, Doctor of Geological and Mineralogical Science, professor (Belarus)

Ксения Докукина / Ksenia Dokukina
кандидат геолого-минералогических наук (Россия) / PhD in Geological and Mineralogical Science (Russia)

Юрий Ерохин / Yuriy Erokhin
кандидат геолого-минералогических наук (Россия) / PhD in Geological and Mineralogical Science (Russia)

Эй-Ксинг Жу / A-Xing Zhu
PhD, профессор (США) / PhD, professor (USA)

Александр Карпик / Aleksandr Karpik
доктор технических наук, профессор ((Россия) / Doctor of Technical Science, professor (Russia)

Владимир Кафтан / Vladimir Kaftan
доктор технических наук (Россия) / Doctor of Technical Science (Geoinformatics) (Russia)

Юджин Левин / Eugene Levin
PhD, доцент (США) / PhD, Associate Professor, (USA)

Василий Малинников / Vasiliy Malinnikov
доктор технических наук, профессор (Россия) / Doctor of Technical Science (Geodesy), professor (Russia)

Михаил Минц / Michail Mints
доктор геолого-минералогических наук (Россия) / Doctor of Geological and Mineralogical Science (Russia)

Анатолий Певнев / Anatoly Pevnev
доктор технических наук, профессор (Россия) / Doctor of Technical Science, professor (Russia)

Вадим Плющиков / Vadim Plyushikov
доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия) / Doctor of Agriculture Science, professor (Russia)

Александр Прищепов / Alexandr Prishchepov
PhD, доцент (Дания) / PhD, Associate Professor (Denmark)

Игорь Савин / Igor Savin
член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия) / Corresponding member of RAS, Doctor of Agriculture Science (Russia)

Виктор Савиных / Victor Savinykh
член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор (Россия) / Corresponding member of RAS, Doctor of Technical Science (Geodesy), professor (Russia)

Сергей Харченко / Sergey Kharchenko
доктор физико-математических наук, профессор (Россия) / Doctor of Physical and Mathematician Science, Professor (Russia

РЕДАКЦИЯ / TECHNICAL BOARD

Петр Докукин / Peter Dokukin
Владимир Кафтан / Vladimir Kaftan
Александр Прийменко / Alexandr Priymenko
Артемий Алексеев / Artemiy Alexeev
Антон Поддубский / Anton Poddubsky
Денис Парпура / Denis Parpura

Свидетельство Роскомнадзора Эл№Фс77-44805 от 29.04.2011
ISSN: 2223-0831
Журнал включен в Российский индекс научного цитирования
Учредитель (издатель): ООО «ГеоДозор», Россия, Москва
Издается совместно с Российским университетом дружбы народов
Почтовый адрес редакции: Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8 кор. 2, каб. 445
Электронный адрес: http://geo-science.ru
Электронная почта: journal@geo-science.ru

Размещение статьи в номере журнала на его официальном интернет-сайте http://geo-science.ru является свидетельством публикации.

Авторские права сохраняются в соответствии с международными правилами.

Авторы статей несут ответственность за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция не всегда разделяет мнения авторов и не несет ответственности за недостоверность публикуемых данных. Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи. Редакция вправе изъять уже опубликованную статью, если выяснится, что в процессе публикации статьи были нарушены чьи-либо права или общепринятые нормы научной этики. О факте изъятия статьи редакция сообщает автору, который представил статью, рецензенту и организации, где работа выполнялась.

Правила предоставления статей и требования к их оформлению размещены на официальном сайте журнала по адресу http://geo-science.ru

ГЕОЛОГИЯ / GEOLOGY	
Симонян В.В., Николаева Г.А. Сравнительный анализ численных критериев результативности методов оценки опасных оползневых процессов / ***Simonyan V.V., Nikolaeva G.A.*** Comparative Analysis of Numerical Criteria Performance of the Methods Evaluating Hazardous Landslide Processes	004
Рязанов К.П. Структурно – генетический анализ среднепалеозойских отложений (Падейская свита) северо-Восточного Пай-Хоя / ***Ryazanov K.P.*** Structural - Genetic Analysis of Middle Paleozoic Deposits (Padey of Formation) of the North-Eastern Part of the Pai-Khoi	015
Гасанов И.Р. К вопросу изучения влияния инерционных сил при двучленном законе фильтрации / ***Gasanov I.R.*** About the Study of the Influence of Inertial Forces at the Two-Term Filtration Law	026
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ / REMOTE SENSING	
Ле Хунг Чинь, Динь Щинь Май Классификация космических изображений на основе плотности и Fuzzy C-Means алгоритма / ***Le Hung Trinh, Dinh Sinh Mai*** Classification of Remote Sensing Imagery Based on Density and Fuzzy C-Means Algorithm	031
Гаврилова Л.А., Лимнов А.Н. Оптимизация фотограмметрической обработки космических снимков для целей мониторинга объектов недвижимости / Gavrilova L.A., Limonov A.N. Optimization of Photogrammetric Processing of Space-Borne Images for Monitoring of Real Estate	042
ГЕОИНФОРМАТИКА / GEOINFORMATICS	
Савиных В.П., Цветков В.Я. Комплексный анализ Арктических территорий / ***Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya.*** Complex Analysis of Arctic Territories	051
Розенберг И.Н. Топосемантическое информационное соответствие в пространственном моделировании / ***Rozenberg I.N.*** Toposemantic Information Consistency in Spatial Modeling	064
Буравцев А.В. Фискальная кадастровая подсистема / ***Buravtsev A.V.*** Fiscal Cadastral Subsystem	074

УДК 624.131.1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЧИСЛЕННЫХ КРИТЕРИЕВ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ОПАСНЫХ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ

Симонян В.В.	***Николаева Г.А.***
Кандидат технических наук, доцент, НИУ МГСУ "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет"	Студент, НИУ МГСУ "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет"
Адрес: 129337 г. Москва, Ярославское шоссе, 26. **E-mail:** simonyan.vladimir55@gmail.com	**Адрес:** 129337 г. Москва, Ярославское шоссе, 26. **E-mail:** galina-nikolaeva-97@mail.ru

Аннотация. *В статье приведены существующие методы регионального и локального прогнозирования опасных оползневых процессов с целью перевода этих методов на математический язык для выявления наиболее предпочтительного из них. Делается вывод, что для выбора оптимального метода оценки опасных оползневых процессов, сравнительный анализ недостаточен. Необходимо разработать численный метод сравнительного количественного анализа результативности этих методов. Для выполнения количественного анализа результативности существующих методов оценки опасных оползневых процессов установлены следующие оценочные параметры: 1) надежность; 2) эффективность; 3) совокупность; 4) аналитичность; 5) используемость; 6) практичность. Для каждого оценочного параметра даны диапазоны изменения параметров (весов) Pi, которые принадлежат отрезку [0;1] и проведен анализ диапазонов изменения этих параметров. Принятые линейки шкал весов Pi-j для различных параметров Pi представлены в таблице «Характеристики оценочных параметров, используемые для сравнительного анализа результативности существующих методов оценки оползневых опасностей». Представляя численные значения весов Pi-j для каждого параметра Pi как случайный вектор-строку, рассчитана относительная результативность каждого метода Vres. На основании численного метода выполнен сравнительный анализ результативности применения существующих методов, т.е. выполнено тестирование разработанного численного метода. Результаты тестирования приведены в таблице «Количественные значения параметров сравнительного анализа результативности существующих методов оценки оползневых опасностей». Для всех методов составлены соответствующие диаграммы структурного распределения параметров, характеризующих результативность метода оценки проявления оползневых процессов, а также диаграмма сравнительной результативности методов оценки и прогноза оползневых процессов. Предлагаемый численный метод по сравнительному анализу оценки опасностей и рисков оползневых процессов, позволяет достаточно рационально выполнять оценку их результативности. По результатам тестирования можно сделать однозначный вывод, что из всех существующих методов метод математического моделирования является наиболее предпочтительным для оценки опасностей и рисков оползневых процессов.*

Ключевые слова: *оползень, прогнозирование, анализ, методы, результаты, параметры, результативность, тестирование.*

Введение

Прогнозирование оползневых процессов бывает региональным и локальным.

Региональное прогнозирование предполагает заранее установление возможности возникновения оползневых процессов и их влияния на сооружения в пределах целого района. При региональном прогнозировании невозможно определить конкретные типы и места проявления оползневых процессов.

Локальное прогнозирование относится к конкретным типам склоновых процессов (в отличие от регионального) и к местам их проявления, а также во взаимодействии с сооружениями. Локальное прогнозирование имеет большое практическое значение за свою конкретность, так как полнее оценивает природу и механизм оползневого процесса.

Региональное и локальное прогнозирование хорошо известно в научной литературе. Перечислим методы прогнозирования оползневых опасностей с целью перевода методов оценки оползневых процессов на математический язык.

К качественному классу методов относятся [7]:

- методы прогнозирования оползней, которые основаны по экспертным оценкам;
- методы оценок в баллах по установлению устойчивости территории.

Количественное прогнозирование оползневой опасности состоит из двух подклассов методов:

- детерминированных;
- вероятностных.

К подклассу детерминированных методов относятся следующие группы:

- методов оценки проявления оползневых процессов;
- методов аналогий.

Подкласс вероятностных методов

Еще не так давно для оценки оползневой опасности использовались, в основном, детерминистические методики анализа. Однако, в последнее время [4], [17], все чаще появляются методики анализа, которые основаны на статистических методах.

К методам прогнозирования оползневой опасности, основанные на статистическом подходе [6], [14] относятся следующие группы методов:

- геодинамического потенциала;
- регрессионного анализа;
- анализа ритмичности;
- статистический анализ факторов оползнеобразования;
- многомерная статистика.

При изучении устойчивости склона используют следующие методы [5], [13], [15], [16]:

- аналогий;
- физического моделирования;
- математического моделирования.

Чтобы выбрать оптимальный метод оценки опасных оползневых процессов, сравнительный анализ недостаточен. Необходимо разработать численный метод сравнительного количественного анализа результативности этих методов.

Для выполнения количественного анализа результативности методов оценки опасных оползневых процессов, установим следующие оценочные параметры P_i [11]:

- надежность (результаты оценки и вытекающие из этого выводы должны как можно с большей достоверностью быть в соответствии с реальными условиями, наблюдаемыми на исследуемом склоне);
- эффективность (параметр характеризует производительность метода, т.е. получение однозначного результата в наиболее сжатые сроки);
- совокупность (в качестве входной информации применяется не одна или две характеристики окружающей среды, а весь комплекс таких характеристик);
- аналитичность (возможность **использования физического либо математи**ческого моделирования);
- используемость (учитываются проведенные работы по фактическому использованию конкретного метода к оценке оползневых процессов);
- практичность (незначительная величина затрат на разработку, простота и применение метода).

Проанализируем диапазоны изменения весов (параметров) P_i.

1. *Надежность* P_1.

В основу определения надежности P_1 поставим площадной принцип:

$$P_1 = \frac{S}{S_0}, \qquad (1)$$

где S – площадь территории, охваченная оползневым процессом (учитываются и активные и пассивные формы его проявления); S_0 – площадь всей рассматриваемой склоновой территории.

Надежность P_1 зависит от точности геодезической основы. Величина параметра P_1 принадлежит отрезку [0;1].

2. *Эффективность* P_2.

По нашему мнению, здесь уместно ввести следующие численные значения весов $P_{2\text{-}j}$:

- $P_{2\text{-}1}$ = 0,00 – использовать результаты с последующей обработкой и интерпретация, невозможны;
- $P_{2\text{-}2}$ = 0,25 – результаты неоднозначны, получены за продолжительный период времени, но можно их использовать в дальнейших исследованиях;
- $P_{2\text{-}3}$ = 0,50 – результаты неоднозначны, получены за небольшой промежуток времени, но - можно их использовать в дальнейших исследованиях;
- $P_{2\text{-}4}$ = 0,75 – результаты однозначны, но получены за продолжительный период времени;
- $P_{2\text{-}5}$ = 1,00 – результаты однозначны, но получены за небольшой промежуток времени.

При этом имеется в виду, что небольшой промежуток времени – от месяца до года, продолжительный период – более одного года (до нескольких лет).

3. *Совокупность* P_3.

Так как данный параметр находится посредством количества полей исходных характеристик окружающей среды, то имеет смысл линейку численных значений весов $P_{3\text{-}j}$ этого параметра определять следующим образом:

- $P_{3\text{-}1}$ = 0,2 – используется одна входная характеристика;
- $P_{3\text{-}2}$ = 0,4 – используются две или три входные характеристики;
- $P_{3\text{-}3}$ = 0,6 – используются четыре или пять входных характеристик;
- $P_{3\text{-}4}$ = 0,8 – используется шесть или семь входных характеристик;
- $P_{3\text{-}5}$ = 1,0 – используется более семи входных характеристик.

Очевидно, что все входные характеристики должны быть получены из достоверных источников информации и быть достаточно надежными.

4. *Аналитичность* P_4.

Здесь нами предлагается следующие значения величин весов $P_{4\text{-}j}$:

- $P_{4\text{-}1}$ = 0,0 – методы моделирования (как физического, так и математического) отсутствуют.
- $P_{4\text{-}2}$ = 0,5 – применяется один из видов моделирования (физическое или математическое) изучаемого процесса. Модель детерминированная или вероятностная.
- $P_{4\text{-}3}$ = 1,0 – используется и физическое и математическое моделирование одновременно.

5. *Используемость* P_5.

Используемость метода мы будем понимать в такой постановке вопроса: был ли применен метод для изучения какой-либо склоновой территории, для анализа структуры и величины риска, для выявления зон риска и оценки уровня оползневой безопасности? Здесь надо учесть все официальные публикации по каждому методу. А это чрезвычайно сложная и, в общем-то,

субъективного характера задача. По этой причине для объективности будем полагать значения весов $P_{5\text{-}j}$:

- $P_{5\text{-}1}$ = 0,25 – метод был применен один раз;
- $P_{5\text{-}2}$ = 0,50 – метод применялся два раза к различным склонам;
- $P_{5\text{-}3}$ = 0,75 – метод применялся три раза;
- $P_{5\text{-}4}$ = 1,00 – метод применялся более трех раз.

6. *Практичность* P_6.

Это наиболее неопределенный параметр, так как неизвестны истинные затраты на весь цикл работ этих методов (разработка, внедрение, апробация). Объективно можно судить о нем по стоимости оборудования, которое задействовано в реализации конкретного метода. По этой причине для данного параметра используем следующую шкалу значений весов $P_{6\text{-}j}$:

- $P_{6\text{-}1}$ = 0,1 – использована аэрокосмическая техника;
- $P_{6\text{-}2}$ = 0,4 – использовано дорогостоящее лабораторное оборудование, в том числе и стационарное;
- $P_{6\text{-}3}$ = 0,7 – использованы компьютерные комплексы и лабораторное оборудование;
- $P_{6\text{-}4}$ = 1,0 – использован один компьютерный базовый комплект.

Принятые выше линейки шкалы весов $P_{i\text{-}j}$ для различных параметров P_i представим в табл. 1.

Представим указанные выше численные значения весов $P_{i\text{-}j}$ для каждого параметра P_i как случайный вектор-строку $\|P_i\|$ и рассчитаем модуль вектора результативности V_{res} по следующей формуле [12]:

$$|V_{res}| = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} P_{i-j}^2}{\sum_{i=1}^{n} (\max P_{i-j})^2}}, \qquad (2)$$

где n = 6 (количество параметров) для нашего случая.

Так как для сравнительного анализа методов целесообразно рассчитывать относительную результативность метода и при этом максимальное значение параметров max P_i=1, то тогда

$$|\max V_{res}| = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (\max P_{i-j})^2} = \sqrt{n},$$

то есть максимальная абсолютная результативность метода составит $|\max V_{res}| = \sqrt{n}$. Тогда формула (2) примет вид:

$$|V_{res}| = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} P_{i-j}^2}{n}}. \qquad (3)$$

На основании численного метода нами выполнен по формуле (3) собственно сам сравнительный анализ результативности применения нескольких методов, которые были рассмотрены выше, т.е. было выполнено тестирование разработанного численного метода (см. табл. 2 и рис. 1 – 11).

Таблица 1.

Характеристики оценочных параметров, используемые для сравнительного анализа результативности существующих методов оценки оползневых опасностей

№ п/п	Оценочные параметры и их условные обозначения P_i	Краткая характеристика параметра	Веса значений параметра (или расчетная формула) $P_{i\text{-}j}$
1.	Надежность (P_1)	Результаты оценки и последующие выводы должны соответствовать реальным условиям по исследуемым территориям с как можно большей достоверностью.	$P_i = \frac{S}{S_0}$, S – площадь оползневого тела; S_0 – площадь всего склона.
2.	Эффективность (P_2)	Параметр определяет эффективность метода, то есть достижение в наиболее короткие сроки однозначного результата.	0,00 – использование результатов невозможно; 0,25 – результаты неоднозначны, получены за продолжительный период времени, но можно их использовать; 0,50 – результаты неоднозначны, получены за небольшой промежуток времени, но можно их использовать; 0,75 – результаты однозначны, но получены за продолжительный период времени; 1,00 – результаты однозначны, но получены за небольшой промежуток времени.
3.	Совокупность (P_3)	В качестве исходных данных используются определенное количество характеристик окружающей среды.	0,2 – одна входная характеристика; 0,4 – две или три входные характеристики; 0,6 – четыре ли пять входных характеристик; 0,8 – шесть или семь входных характеристик; 1,0 – более семи входных характеристик.
4.	Аналитичность (P_4)	Выполнимость физического либо математического моделирования.	0,0 – методы отсутствуют; 0,5 – применяется один из видов моделирования; 1,0 – применяются оба вида моделирования.
5.	Используемость (P_5)	Учитываются только официально выполненные работы.	$P_5 = 0{,}25k$, k – количество применений метода к различным склоновым территориям.
6.	Практичность (P_6)	Размер затрат на разработку, внедрение и применение метода.	0,1 – использована аэрокосмическая техника; 0,4 – использовано дорогостоящее лабораторное оборудование; 0,7 – использованы компьютерные комплексы и лабораторное оборудование; 1,0 – использован один компьютерный базовый комплект.

Таблица 2.

Количественные значения параметров сравнительного анализа результативности существующих методов оценки оползневых опасностей

Оценочные параметры *Pi*	Обозначения параметров	Название метода							
		оценки проявления оползневых процессов	аналогий	геодинамического потенциала	регрессионного анализа	анализа ритмичности	статистического анализа оползневых	многомерной статистики	математического моделирования
Надежность	P_1 =	0,50	0	0,40	0,50	0	0	0,70	0,90
Эффективность	P_2 =	1,00	0,75	0,25	0,75	0	0	0,75	1,00
Совокупность	P_3 =	0,80	1,00	1,00	1,00	0,40	0,40	0,20	1,00
Аналитичность	P_4 =	1,00	0,50	0	0	0	0	0	1,00
Используемость	P_5 =	0,50	0,50	0,50	1,00	0	0,25	0,25	1,00
Практичность	P_6 =	0,70	0,40	0,40	0,70	0,40	1,00	1,00	1,00
Относительная результативность метода	V_{res}	0,78	0,61	0,52	0,74	0,23	0,45	0,60	0,98

Значения параметров P_i (i = 1, ..., 6) для приведенных в табл. 2 методов оценки оползневой опасности в склоновых системах, определены нами на основе градации диапазонов значений весов $P_{i\text{-}j}$, которые были рассмотрены выше, исходя из содержательных описаний методов в работах [1], [2], [3], [4], [7], [8], [9], [10], [13], [14].

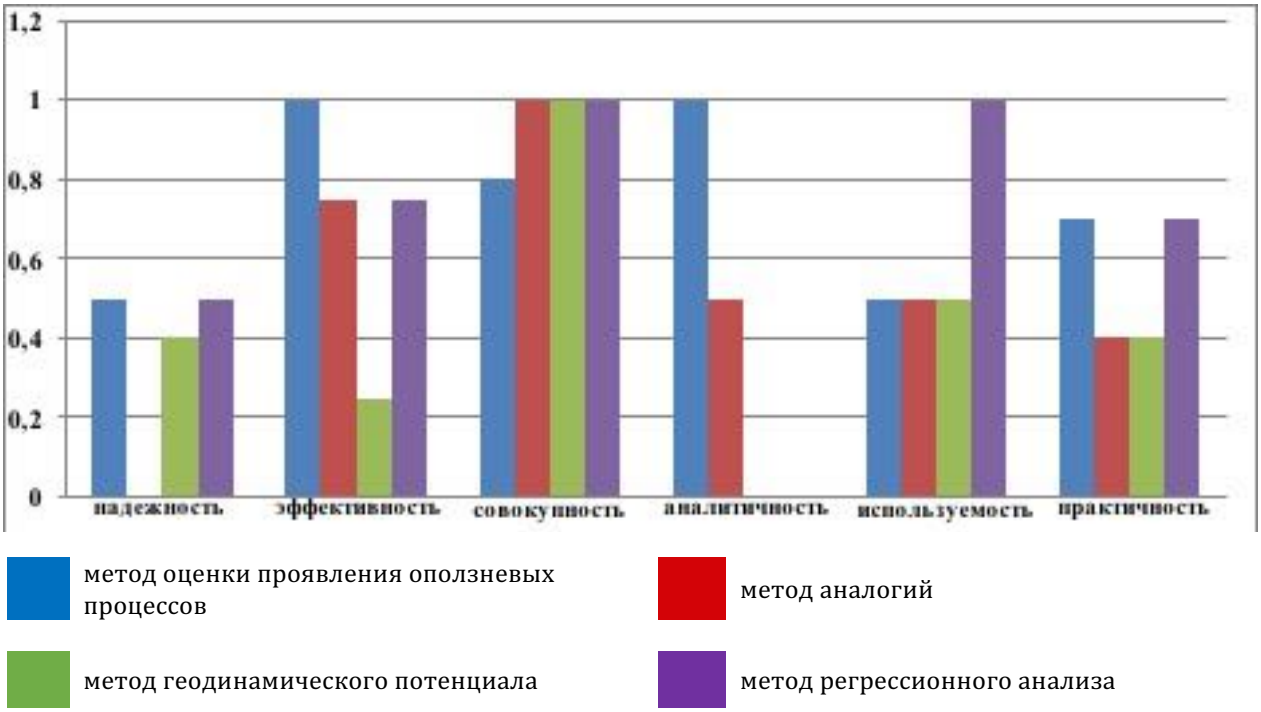

Рис. 1. Сравнительная диаграмма характеристик оценочных параметров метода оценки проявления оползневых процессов, метода аналогий, метода геодинамического потенциала и метода регрессионного анализа

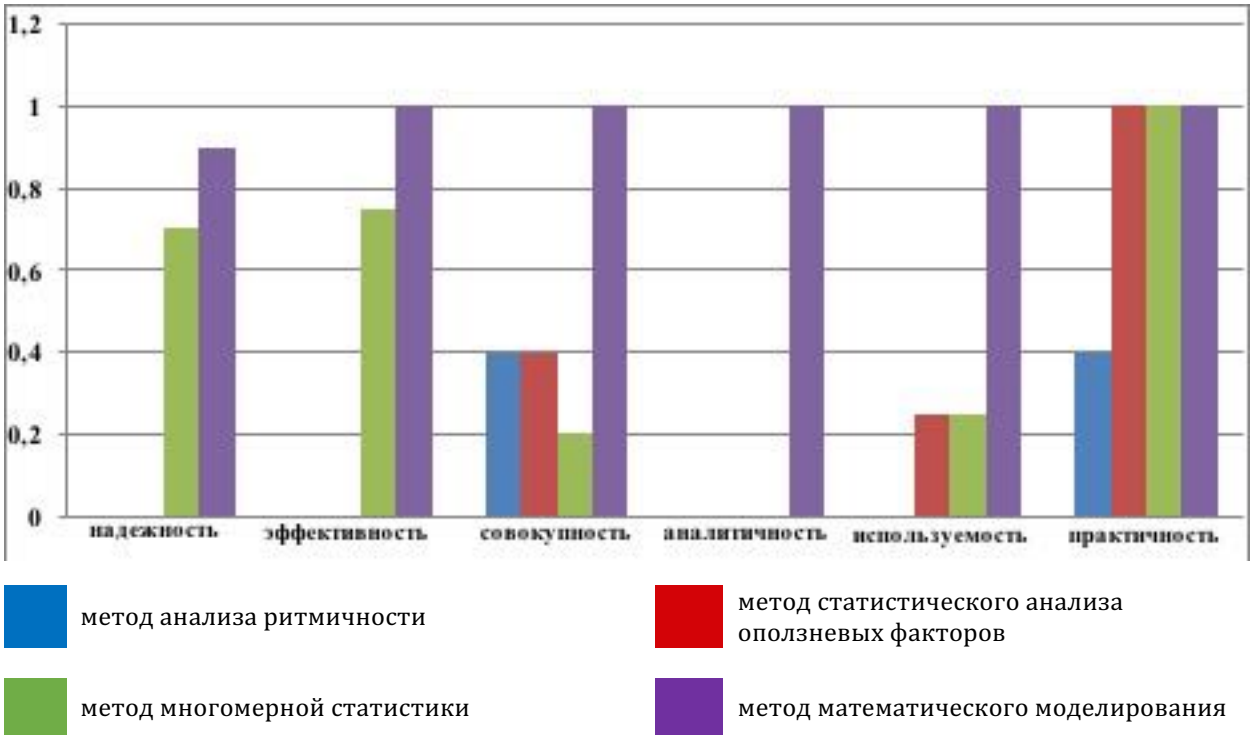

Рис. 2. Сравнительная диаграмма характеристик оценочных параметров метода анализа ритмичности, метода статистического анализа оползневых факторов, метода многомерной статистики и метода математического моделирования

Рис. 3. Диаграмма структурного распределения параметров, характеризующих результативность метода оценки проявления оползневых процессов

Рис. 4. Диаграмма структурного распределения параметров, характеризующих результативность метода аналогий

Рис. 5. Диаграмма структурного распределения параметров, характеризующих результативность метода геодинамического потенциала

Рис. 6. Диаграмма структурного распределения параметров, характеризующих результативность метода регрессионного анализа

Рис. 7. Диаграмма структурного распределения параметров, характеризующих результативность метода анализа ритмичности

Рис. 8. Диаграмма структурного распределения параметров, характеризующих результативность метода статистического анализа оползневых факторов

Рис. 9. Диаграмма структурного распределения параметров, характеризующих результативность метода многомерной статистики

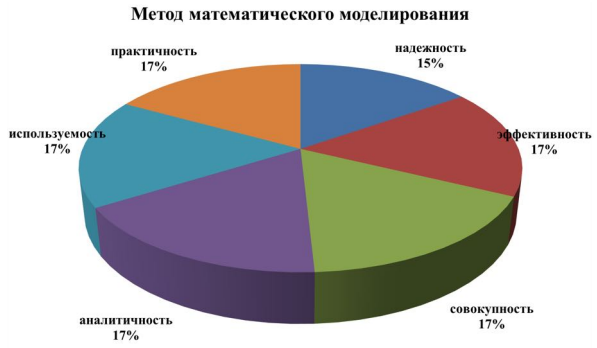

Рис. 10. Диаграмма структурного распределения параметров, характеризующих результативность метода математического моделирования

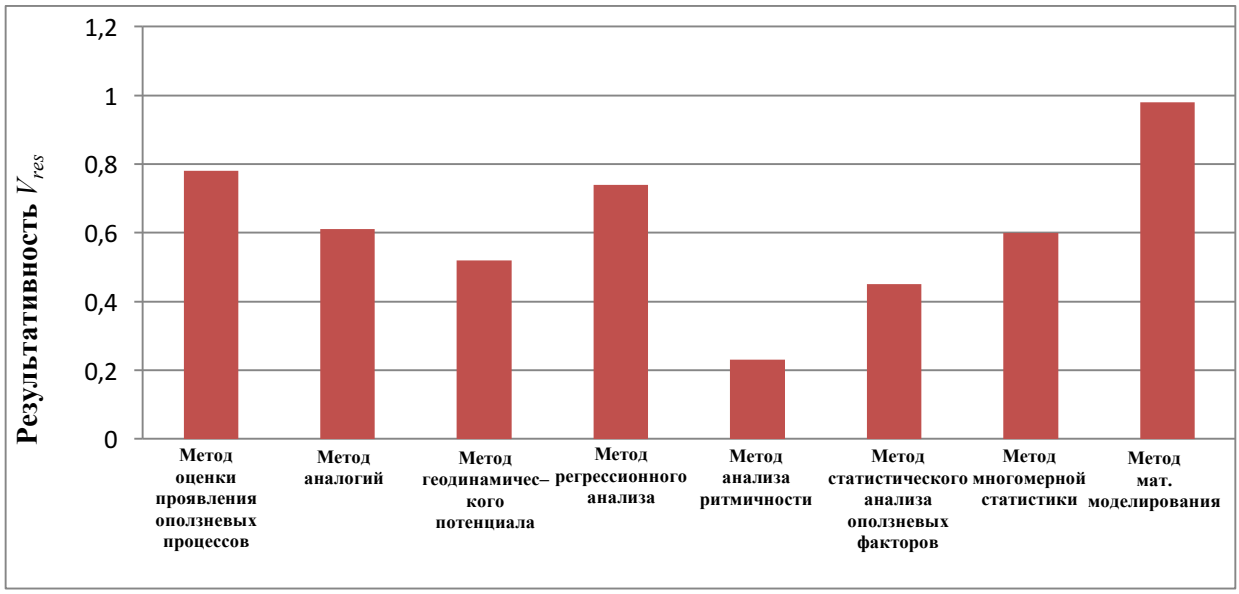

Рис. 11. Сравнительная результативность методов оценки и прогноза оползневых процессов

Таким образом, предлагаемый нами численный метод по сравнительному анализу оценки опасностей и рисков оползневых процессов, которые влияют на безопасность склоновых систем, позволяет достаточно рационально выполнять оценку их результативности. Результаты тестирования показали, что метод математического моделирования в склоновых системах является наиболее предпочтительным для оценки опасностей и рисков оползневых процессов.

Литература

1. Гулакян К.А., Кюнцель В.В., Постоев Г.П. Прогнозирование оползневых процессов. М.: Недра, 1977. – 135 с.
2. Емельянова Е.П. Сравнительный метод оценки устойчивости склонов и прогноза оползней. М.: Недра, 1971. – 103 с.
3. Золотарев Г.С. Инженерно-геологическое изучение береговых склонов и значение истории их формирования для оценки устойчивости / Труды ЛГТП АН СССР. 1961. – Т. 35.

4. Зыонг М.Х., Фоменко И.К., Пендин В.В. Региональный прогноз оползневой опасности для района Ха Лонг – Кам Фа на северо–востоке Вьетнама / М.Х. Зыонг, И.К. Фоменко, В.В. Пендин // Журнал "Инженерная геология", Инженерная геология, №1, 2013. – С. 46 – 54.
5. Калинин Э.В. Инженерно-геологические расчеты и моделирование. М.: Издательство Московского университета, 2006. – 256 с.
6. Кюнтцель В.В. Закономерности оползневого процесса на Европейской территории СССР. – М.: Недра, 1980. – 267 с.
7. Пендин В.В. Комплексный количественный анализ информации в инженерной геологии. М.: КДУ, 2009. – 350 с.
8. Пендин В.В. Изоморфизм и изомерность инженерно-геологических условий. Геоэкология, № 1, 1994. – С. 44 – 48.
9. Пендин В.В., Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности. М.: ЛЕНАНД, 2015. 320 с.
10. Розовский Л.Б. Введение в теорию геологического подобия и натурного моделирования. М.: Недра, 1969. – 128 с.
11. Симонян В.В. Численный метод сравнительного количественного анализа результативности методов оценки опасных оползневых процессов. В сборнике Международной научно-практической конференции «Современные проблемы инновационного развития науки» (23 июня 2017 г., Волгоград) в 3 ч. Уфа, 2017. С. 87 – 97.
12. Фаддеев А.О. Математическое моделирование и методы оценки рисков в территориальных системах, подвергающихся воздействию геодинамических факторов. Дисс. на соискание уч. ст. докт. техн. наук. – М.: 2011. – 432 с.
13. Фоменко И.К. Математическое моделирование напряженного состояния инженерно-геологического массива, сложенного анизотропными горными породами. Дисс. канд. геол. минер. наук. Москва. 2001. 138 с.
14. Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности / Дисс. на соискание уч. ст. докт. г-м наук. – М.: 2014. – 320 с.
15. Duncan J. Michael. Discussion of "Probabilistic slope stability analysis for practice" / Michael Duncan J., Michael Navin, Thomas F. Wolff // Can. Geotech. J. - 2003. - Vol. 40. - P. 848-850.
16. El-Ramly H. Probabilistic slope stability analysis for practice / H. El-Ramly, N. R. Morgenstern, D. M. Cruden // Can. Geotech. J. - № 39. - 2002. - Pp. 665-683.
17. Lee C.T., Huang C.C., Lee J.F., Pan K.L., Lin M.L., Dong J.J. "Statistical approach to earthquake–induced landslide susceptibility", Engineering Geology, Vol. 100, 2008. – pp. 43 – 58.

References

1. Gulakyan K.A., Kuntsel V.V., Postoev G.P. Forecasting landslide processes. Moscow: Nedra, 1977. - 135 p.
2. Yemelyanova EP Comparative method for assessing the stability of slopes and the forecast of landslides. M .: Nedra, 1971. - 103 p.
3. Zolotarev G.S. Engineering-geological study of coastal slopes and the significance of the history of their formation for the assessment of sustainability / Proceedings of the Leningrad State Technical University of the USSR. 1961. - T. 35.
4. Zyong M.Kh., Fomenko IK, Pendin V.V. Regional forecast of landslide hazard for the Ha Long-Kam Fah region in the northeast of Vietnam / M.Kh. Zyong, I.K. Fomenko, V.V. Pendin // Journal of Engineering Geology, Engineering Geology, No. 1, 2013. - P. 46-54.
5. Kalinin E.V. Engineering-geological calculations and modeling. Moscow: Publishing house of Moscow University, 2006. - 256 p.
6. Kuntzel V.V. Regularities of the landslide process in the European territory of the USSR. - Moscow: Nedra, 1980. - 267 p.
7. Pendin V.V. Complex quantitative analysis of information in engineering geology. M .: KDU, 2009. - 350 with.
8. Pendin V.V. Isomorphism and isomerism of engineering-geological conditions. Geoecology, No. 1, 1994. - P. 44 - 48.
9. Pendin VV, Fomenko I.K. Methodology of landslide hazard assessment and forecast. Moscow: LENAND, 2015. 320 p.
10. Rozovsky, L.B. Introduction to the theory of geological similarity and full-scale modeling. M .: Nedra, 1969. - 128 p.
11. Simonyan V.V. Numerical method of comparative quantitative analysis of the effectiveness of methods for assessing dangerous landslide processes. In the collection of the International Scientific and Practical Conference "Modern Problems of Innovative Development of Science" (June 23, 2017, Volgograd) at 3 pm Ufa, 2017. P. 87 - 97.
12. Faddeev A.O. Mathematical modeling and methods of risk assessment in territorial systems exposed to geodynamic factors. Diss. for the competition uch. Art. Doct. tech. sciences. - M .: 2011. - 432 c.
13. Fomenko I.K. Mathematical modeling of the stressed state of an engineering-geological massif composed of anisotropic rocks. Diss. Cand. geol. miner. sciences. Moscow. 2001. 138 pp.
14. Fomenko I.K. Methodology of assessment and forecast landslide hazard / Diss. for the

competition uch. Art. Doct. Mr. of Sciences. - Moscow: 2014. - 320 p.
15. Duncan J. Michael. Discussion of "Probabilistic slope stability analysis for practice" / Michael Duncan J., Michael Navin, Thomas F. Wolff // Can. Geotech. J. - 2003. - Vol. 40. - P. 848-850.
16. El-Ramly, H., Probabilistic slope stability analysis for practice (H. El-Ramly, N. R. Morgenstern, D. M. Cruden, Can. Geotech. J. - No. 39. - 2002. - Pp. 665-683.
17. Lee C.T., Huang C.C., Lee J.F., Pan K.L., Lin M.L., Dong J.J. "A statistical approach to earthquake-induced landslide susceptibility", Engineering Geology, Vol. 100, 2008. - pp. 43 - 58.

COMPARATIVE ANALYSIS OF NUMERICAL CRITERIA PERFORMANCE OF THE METHODS EVALUATING HAZARDOUS LANDSLIDE PROCESSES

Vladimir Simonyan	*Galina Nikolaeva*
PhD, associate Professor, associate Professor, Institute of Hydraulic Engineering and Power Plant Construction, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)	Student, Institute of Environmental Engineering and Mechanization, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)
Адрес: 129337 г. Москва, Ярославское шоссе, 26. **E-mail:** simonyan.vladimir55@gmail.com	**Адрес:** 129337 г. Москва, Ярославское шоссе, 26. **E-mail:** galina-nikolaeva-97@mail.ru

Abstract. *The article presents existing methods of regional and local prognosis of hazard-ous landslide processes with the aim of translating these techniques into mathematical language to identify the most preferred ones. It is concluded that for the selection of the optimal method of assessing threat of landslide processes, the comparative analysis is in-sufficient. It is necessary to develop a numerical method for the comparative quantitative analysis of the effectiveness of these methods. To perform a quantitative analysis of the effectiveness of existing methods of assessing threat of landslide processes established the following evaluation parameters: 1) reliability; 2) efficiency; 3) collection; 4) analyticity; 5) usability; 6) practicality. For each evaluation parameter the ranges of parameters (weights) of the Pi that belong to the segment [0;1] and the analysis of the variation rang-es of these parameters. The accepted range of scales, the weights Pi-j for the various Pi pa-rameters shown in the table "Characteristics of the evaluation parameters used for the comparative analysis of the effectiveness of existing methods of assessment of landslide hazards". Introducing the numerical values of the weights Pi-j for each parameter Pi as a random row vector, calculated relative performance of each method Vres. On the basis of numbers provided a method of comparative analysis of the effectiveness of existing meth-ods, i.e., the performed testing of the developed numerical method. The test results are given in the table of "Quantitative values of the parameters of comparative analysis of ef-fectiveness of existing methods of assessing landslide hazards". For all methods corre-sponding chart of the structural distribution of parameters characterizing the perfor-mance of a method of assessing the manifestation of landslide processes, as well as a chart of the comparative performance of the methods of assessment and forecast of landslide processes. The proposed numerical method in comparative analysis of assessing hazards and risks of landslide processes, allows you to rationally evaluate their impact. The test re-sults can be inconclusive, that of all existing methods the method of mathematical model-ing is the most preferred for assessing the hazards and risks of landslides.*

Key words: *landslide, forecasting, analysis, methods, results, parameters, performance, testing.*

© Симонян В.В., Николаева Г.А., 2017

УДК 551.7

СТРУКТУРНО – ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ (ПАДЕЙСКАЯ СВИТА) СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПАЙ-ХОЯ

Рязанов К.П.

Аспирант, Санкт-Петербургский горный университет

Адрес: 199106, Санкт-Петербург, 21-я лин. В.О., 2
E-mail: : k-r-i-z26@mail.ru

Аннотация. *Цель данной работы состоит в выделении последовательных стадий формирования терригенных отложений среднего палеозоя северо-восточного Пай-Хоя на основе анализа циклических ассоциаций осадочных пород. По результатам литолого-генетического анализа, представляется возможным обобщить типы циклотем в закономерные сочетания, которые можно трактовать как следы законченных процессов осадконакопления. Трансгрессивно-регрессивные циклы играют значительную роль в турбидитном накоплении. Терригенный материал поступал с прибрежной зоны по авандельте и транспортировался в глубоководные части морского бассейна с помощью низкоплотностных турбидитных потоков. Такая обстановка имела связь трансгрессивно-регрессивными циклами в эмско-раннеживетском временном интервале. Длительные колебания уровня моря существенно влияют на формирование рельефа и осадков прибрежной зоны и шельфа.*

Ключевые слова: *Пай-Хой, турбидиты, трансгрессивно-регрессивные циклы, авандельта, литотип, типы слоев, структурно-генетический анализ.*

Введение

Терригенные турбидиты представлены в основном ***падейской свитой*** (D_{1-2} *pd*). Название падейской свиты было предложено В.И. Устрицким [8] для толщи кварцитовидных песчаников с прослоями «глинистых и кремнисто-глинистых сланцев», прослеженной на первые сотни километров от побережья Карского моря до р. Силова в направлении с северо-запада на юго-восток. В. И. Устрицкий [8] отмечает постепенное сокращение в разрезах свиты прослоев и пачек кварцитовидных песчаников. Отмеченные В. И. Устрицким [8] фациальные разновидности разрезов падейской свиты, конкретизирует А. Б. Юдина [12], выделившая амдерминскую сланцево-песчаниковую (для северо-западного Пай-Хоя) и марейшорскую песчаниково-сланцевую (для юго-восточного Пай-Хоя) градации падейской свиты. По данным работ Елисеева [4], Беляева [1] градация на изученных разрезах является амдерминского типа.

В ходе полевых сезонов в 2013-2015 гг. детальные исследования по данной свите проводились ведущим геологом ЗАО «Полярго» В. А. Плаксиной в маршрутной паре с автором работы. Результатом полевых наблюдений является составление детального опорного разреза по побережью Карского моря, помимо этого были изучены обнажения по р. Талатаяхе, Тарепатаяхе, Черной и др. Особое внимание в ходе описания разрезов уделялось структурно-текстурным особенностям отложений (рис. 1).

Полный разрез падейской свиты в данном районе составить проблематично, обусловлено это тем, что повсеместно развиты региональные складчатые зоны, а также многочисленные осложнения, представленные тектоническими нарушениями и обширной микроскладчатостью. Но по результатам работ предшественников [3,10] в районе мыса Ливанова в гидрологической скважине АД-2, расположенной в 6 км к юго-востоку от п. Амдерма, в отчете представлена наиболее полная

характеристика пород свиты по керновому материалу.

Рис. 1. Обзорная карта-схема расположения площади работ

Литолого-генетическая характеристика отложений

По изученным разрезам представляется возможным выделить последовательные стадии формирования изучаемых отложений на основе анализа циклических ассоциаций осадочных пород — циклотем. Под циклотемами в данной работе будут рассматриваться многослои, состоящие из нескольких слоев, без однозначного повторения. Термин «циклотема» был предложен для вертикальных слоевых последовательностей И. Уеллером [7].

Следует заметить, что устойчивые сочетания в разрезах литотипов (литолого-генетических типов) формируют типы слоев [9]. Таких типов слоев в падейской свите изученного района 7, которые группируются в 4 типа циклотем.

Тип №1 состоит из восьми типов слоев (рис. 2).

- <u>ХС-3 составляют 6 литотипов:</u>
  - *хс3 и хс2:* Песчаник кварцевый средне- и мелкозернистый от серого до темно-серого, массивный, с редкой мелкой галькой черной кремнистой породы (до первых сантиметров). Местами от толстоплитчатой до глыбовой отдельности. Отмечается присутствие немногочисленных, обычно в послойных цепочечных скоплениях, округлой, овальной, дугообразной формы и размером 0.1-0.4мм, образований, выполненных кальцитом, являющихся, вероятнее всего, перекристаллизованным неопределимым раковинным детритом.
  - *хс1:* Песчаник тонкозернистый кварцевый, серый, иногда розоватого, неотчетливо волнисто- до косослойчатого. Многочисленны секущие жилы белого кварца (до 10 см). Отмечаются десятки рассеянных глобулевидных и размером 0.02-0.05мм, зерен аутигенного сульфида.
  - *ха1:* Сланцы аргиллитовые кремнисто-глинистые темно-серого цвета и углеродисто-кремнисто-глинистые черные.
  - *ха2:* Сланцы аргиллитовые кремнисто-глинистые и углеродисто-кремнисто-глинистые с прослоями алевролита. Редкая микровкрапленность сульфидов.
  - *хаg:* Силициты слабо глинистые, серые-светло-серые, на выветрелой поверхности черные, параллельнослойчатые, с тонкими прослоями аргиллитов кремнистых, темно-серых, параллельнослойчатых. Вверх по слою частота и мощность прослоев аргиллитов увеличивается. В верхней части скопления (до 5 мм) окисленных сульфидов.

- <u>ХС-2 – это 5 литотипов:</u>
  - *хс2 и хс1:* Песчаник кварцевый мелко- и тонкозернистый плитчатый от светло-серого до серого, массивный. Неотчетливо волнисто-косослойчатый.
  - *ха1:* Сланцы аргиллитовые кремнисто-глинистые темно-серого цвета и углеродисто-кремнисто-глинистые черные.

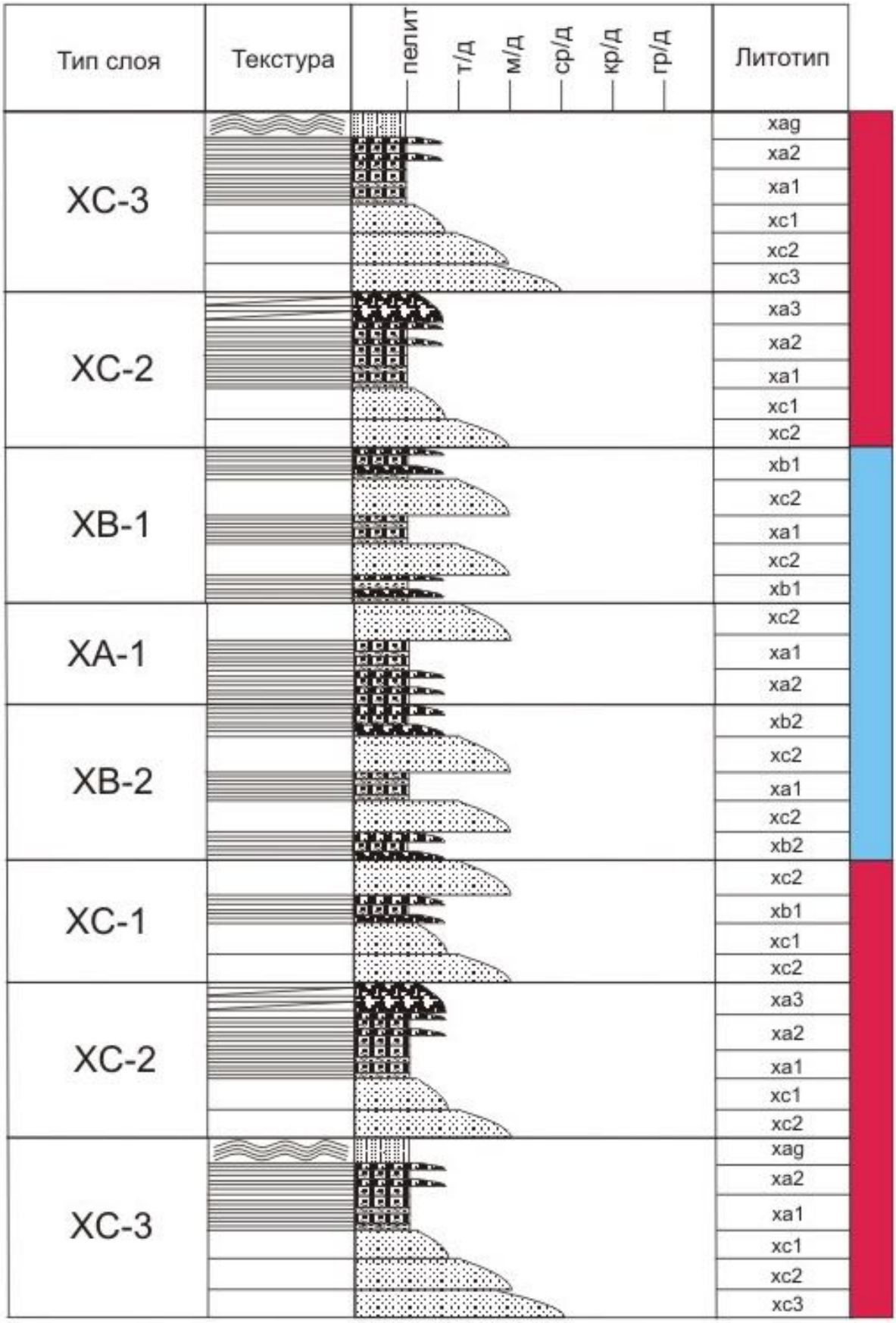

Рис. 2. Первый тип циклотемы падейской свиты. Красным отмечена трансгрессия, голубым — регрессия, т/д – тонкодетритовый, м/д – мелкодетритовый, ср/д – среднедетритовый, кр/д – крупнодетритовый, гр/д – грубодетритовый.

- *xa2:* Сланцы аргиллитовые кремнисто-глинистые и углеродисто-кремнисто-глинистые с прослоями алевролита. Редкая микровкрапленность сульфидов.
- *xa3:* Алевролит серый до светло-серого, слабокосослоистый мелкозернистый слабокарбонатный с обломками раковин.

- <u>ХС-1 образуют четыре литотипа:</u>
- *xc2 и xc1:* Песчаник кварцевый мелко- и тонкозернистый плитчатый от светло-серого до серого, массивный. Неотчетливо волнисто-косослойчатый. Растительный детрит представлен немногочисленными согласно ориентированными нитевидными обрывками углефицированной растительной ткани, размером 0.4-1.5мм. В единичных случаях углефицированный растительный детрит минерализован агрегатом глобулевидных и размером до 0.02 мм, зерен сульфида.
- *xb1:* Тонкое градационное чередование сланцев аргиллитовых углеродисто-кремнисто-глинистых темно-серых (преобладают), алевролитов и алевропесчаников.
- *xc2:* Песчаник кварцевый мелкозернистый от серого до темно-серого, массивный, с редкой мелкой галькой черной кремнистой породы (до первых сантиметров).

- <u>ХВ-2 состоит из пяти литологических типов:</u>
- *xb2:* Тонкое градационное чередование сланцев аргиллитовых углеродисто-кремнисто-глинистых темно-серых, алевролитов и алевропесчаников и песчаников кварцевых (преобладают).
- *xc2:* Песчаник кварцевый мелкозернистый от серого до темно-серого, массивный, с редкой мелкой галькой черной кремнистой породы (до первых сантиметров).
- *xa1:* Сланцы аргиллитовые кремнисто-глинистые темно-серого цвета и углеродисто-кремнисто-глинистые черные.
- Далее идут литотипы *xc2* и *xb2* аналогичные по своему составу вышеописанным.

- <u>ХА-1 образован тремя литотипами:</u>
- *xa2:* Сланцы аргиллитовые кремнисто-глинистые и углеродисто-кремнисто-глинистые с прослоями алевролита. Редкая микровкрапленность сульфидов.
- *xa1:* Сланцы аргиллитовые кремнисто-глинистые темно-серого цвета и углеродисто-кремнисто-глинистые черные.
- *xc2:* Песчаник кварцевый мелкозернистый от серого до темно-серого, массивный, с редкой мелкой галькой черной кремнистой породы (до первых сантиметров).

- <u>ХВ-1 состоит из 5 литотипов:</u>
- *xb1:* Тонкое градационное чередование сланцев аргиллитовых углеродисто-кремнисто-глинистых темно-серых (преобладают), алевролитов и алевропесчаников.
- *xc2:* Песчаник кварцевый мелкозернистый от серого до темно-серого, массивный, с редкой мелкой галькой черной кремнистой породы (до первых сантиметров).
- *xa1:* Сланцы аргиллитовые кремнисто-глинистые темно-серого цвета и углеродисто-кремнисто-глинистые черные.

Далее идут литотипы *xc2* и *xb1* аналогичные по своему составу вышеописанным.

ХС-2 и ХС-3 описывать нет нужды, так как их литотипы соответствуют первым двум начальным описаниям типов слоев.

Тип № 2 состоит из трех типов слоев (рис. 3).

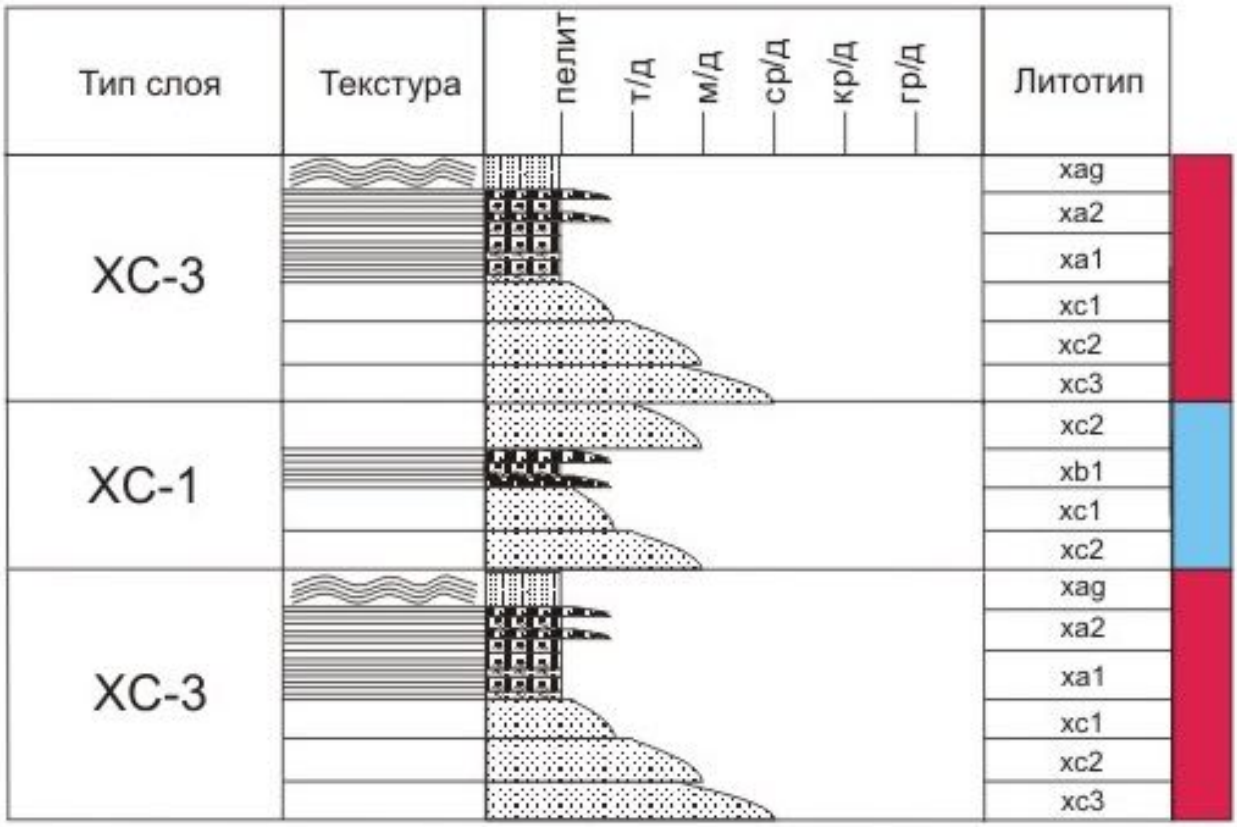

Рис. 3. Второй тип циклотемы падейской свиты. Условные обозначения см. рис. 2.

- <u>ХС-3 составляют 6 литотипов:</u>
  - *xc3 и xc2:* Песчаник кварцевый средне- и мелкозернистый от серого до темно-серого, массивный, с редкой мелкой галькой черной кремнистой породы (до первых сантиметров). Местами от толстоплитчатой до глыбовой отдельности.
  - *xc1:* Песчаник тонкозернистый кварцевый, серый, иногда розоватого, неотчетливо волнисто- до косослойчатого. Многочисленны секущие жилы белого кварца (до 10 см).
  - *xa1:* Сланцы аргиллитовые кремнисто-глинистые темно-серого цвета и углеродисто-кремнисто-глинистые черные.
  - *xa2:* Сланцы аргиллитовые кремнисто-глинистые и углеродисто-кремнисто-глинистые с прослоями алевролита. Редкая микровкрапленность сульфидов.
  - *xag:* Силициты слабо глинистые, серые-светло-серые, на выветрелой поверхности черные, параллельнослойчатые, с тонкими прослоями аргиллитов кремнистых, темно-серых, параллельнослойчатых. Вверх по слою частота и мощность прослоев аргиллитов увеличивается. В верхней части скопления (до 5 мм) окисленных сульфидов.

- <u>ХС-1 – это 4 литотипа:</u>
  - *xc2 и xc1:* Песчаник кварцевый мелко- и тонкозернистый плитчатый от светло-серого до серого, массивный. Неотчетливо волнисто-косослойчатый.
  - *xb1:* Тонкое градационное чередование сланцев аргиллитовых углеродисто-кремнисто-глинистых темно-серых (преобладают), алевролитов и алевропесчаников.
  - *xc2:* Песчаник кварцевый мелкозернистый от серого до темно-серого, массивный, с редкой мелкой галькой черной кремнистой породы (до первых сантиметров).

Следующий тип слоя ХС-3 аналогичен начальному вышеописанному.

Тип № 3 состоит из трех типов слоев (рис. 4).

- <u>ХС-3 составляют 6 литотипов:</u>
  - *хс3 и хс2:* Песчаник кварцевый средне- и мелкозернистый от серого до темно-серого, массивный, с редкой мелкой галькой черной кремнистой породы (до первых сантиметров). Местами от толстоплитчатой до глыбовой отдельности.
  - *хс1:* Песчаник тонкозернистый кварцевый, серый, иногда розоватого, неотчетливо волнисто- до косослойчатого. Многочисленны секущие жилы белого кварца (до 10 см).
  - *ха1:* Сланцы аргиллитовые кремнисто-глинистые темно-серого цвета и углеродисто-кремнисто-глинистые черные.
  - *ха2:* Сланцы аргиллитовые кремнисто-глинистые и углеродисто-кремнисто-глинистые с прослоями алевролита. Редкая микровкрапленность сульфидов.
  - *хаg:* Силициты слабо глинистые, серые-светло-серые, на выветрелой поверхности черные, параллельнослойчатые, с тонкими прослоями аргиллитов кремнистых, темно-серых, параллельнослойчатых. Вверх по слою частота и мощность прослоев аргиллитов увеличивается. В верхней части скопления (до 5 мм) окисленных сульфидов.

- <u>ХА-2 составляет всего лишь один многократно повторяющийся литотип:</u>
  - *(ха3):* Алевролит серый до светло-серого, слабокосослоистый мелкозернистый слабокарбонатный с обломками раковин.

Следующий тип слоя ХС-3 аналогичен начальному вышеописанному.

Тип № 4 имеет 3 типа слоев (рис. 5).

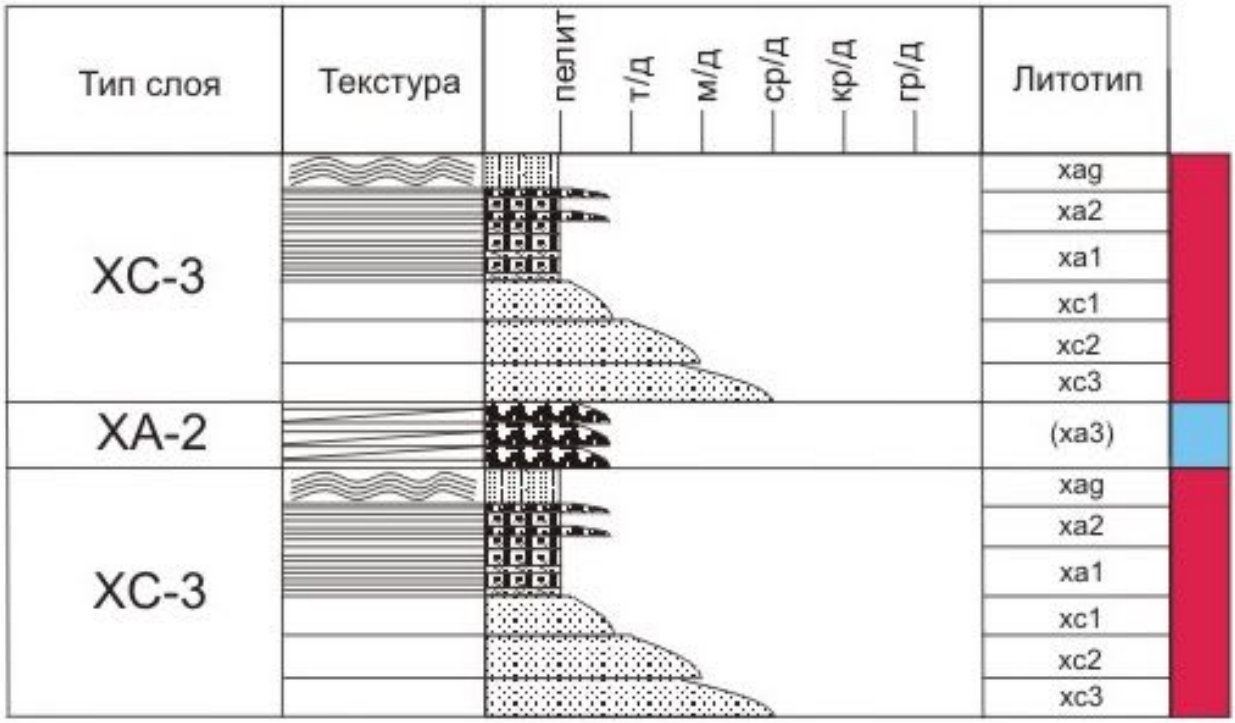

Рис. 4. Третий тип циклотемы падейской свиты. Условные обозначения см. рис. 2.

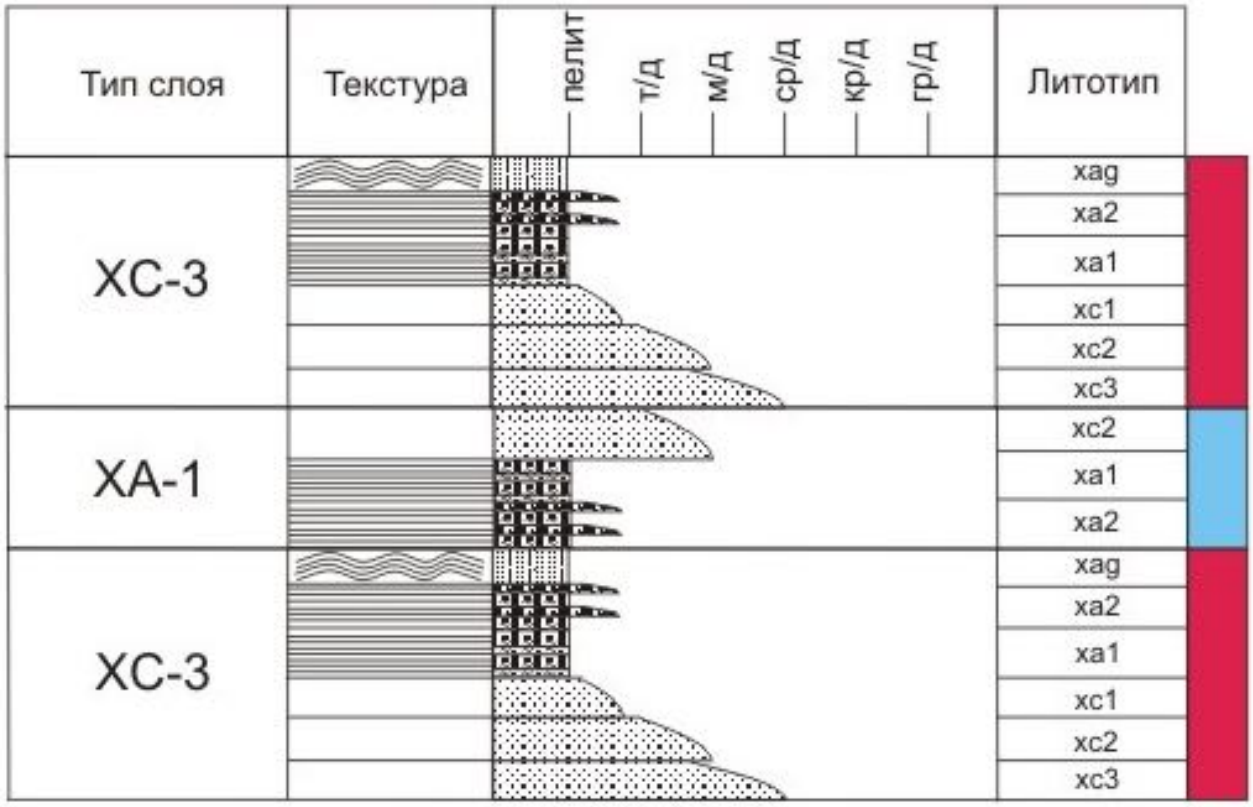

Рис.5. Четвертый тип циклотемы падейской свиты. Условные обозначения см. рис. 2.

- <u>ХС-3 составляют 6 литотипов:</u>
  - *xc3 и xc2:* Песчаник кварцевый средне- и мелкозернистый от серого до темно-серого, массивный, с редкой мелкой галькой черной кремнистой породы (до первых сантиметров). Местами от толстоплитчатой до глыбовой отдельности.
  - *xc1:* Песчаник тонкозернистый кварцевый, серый, иногда розоватого, неотчетливо волнисто- до косослойчатого. Многочисленны секущие жилы белого кварца (до 10 см).
  - *xa1:* Сланцы аргиллитовые кремнисто-глинистые темно-серого цвета и углеродисто-кремнисто-глинистые черные.
  - *xa2:* Сланцы аргиллитовые кремнисто-глинистые и углеродисто-кремнисто-глинистые с прослоями алевролита. Редкая микровкрапленность сульфидов.
  - *xag:* Силициты слабо глинистые, серые-светло-серые, на выветрелой поверхности черные, параллельнослойчатые, с тонкими прослоями аргиллитов кремнистых, темно-серых, параллельнослойчатых. Вверх по слою частота и мощность прослоев аргиллитов увеличивается. В верхней части скопления (до 5 мм) окисленных сульфидов.

- <u>ХА-1 образован тремя литотипами:</u>
  - *xa2:* Сланцы аргиллитовые кремнисто-глинистые и углеродисто-кремнисто-глинистые с прослоями алевролита. Редкая микровкрапленность сульфидов.
  - *xa1:* Сланцы аргиллитовые кремнисто-глинистые темно-серого цвета и углеродисто-кремнисто-глинистые черные.
  - *xc2:* Песчаник кварцевый мелкозернистый от серого до темно-серого, массивный, с редкой мелкой галькой черной кремнистой породы (до первых сантиметров).

Следующий тип слоя ХС-3 аналогичен начальному вышеописанному.

Выводы

Исходя из литолого-генетической типизации, можно сделать некоторые заключения об условиях формирования для каждого типа выделенных циклотем падейской свиты. По приведенным описаниям литотипов основными определяющими признаками изученных терригенных пород являются градационная слоистость, выраженная в закономерном изменении размеров частиц, слагающих слой, резкий контакт в подошвах слоев и набор текстурно-структурных последовательностей, отражающих цикл Боума [5,13]. На основе этого, вероятнее всего, что падейская свита в Амдерминском районе формировалась за счет турбидитных потоков (рис. 6).

Рис. 6. Разрез по побережью Карского моря (фото В.А.Плаксиной и К.П.Рязанова)

Наличие растительных остатков и отсутствие в типичных разрезах морской фауны свидетельствуют о поступлении в морской бассейн больших масс пресной воды, что создавало неблагоприятные условия для развития морского бентоса. Однако имеются горизонты с обилием ихнитов (разрез по побережью Карского моря), представляющими собой сложную систему ходов, проделанных организмами при ползании и в поисках пищи.

Образование пачек осадков связано с результатом гранулометрической сортировки оседающих частиц из воды, обогащенной взвесью (суспензии). В дополнение к этому, при изучении пород было замечено постепенное уменьшение размера частиц (от псаммитового до алевро-пелитового).

Амдерминская градация находилась в приближенной области источника сноса [12], это объясняется большим развитием глинистых пелитов и преобладанием песчаной составляющей над кремнистым сланцевым материалом.

Первый тип: Накопление данного типа шло в результате трансгрессивно-регрессивного цикла в зоне глубоководного шельфа. Осадконакопление совершалось за счет осаждения из взвесей частиц, которые приносило из прибрежной области низкоплотностными мутьевыми потоками.

Второй тип: Формирование происходило в течение цикла трансгрессивно - регрессивного колебания уровня моря. На максимуме трансгрессии происходило прекращение

накопления градационных циклитов и осаждение кремнисто-глинистого материала.

Третий и четвертый типы: Сформировались также в трансгрессивно-регрессивном цикле ниже базы волнений. Максимуму трансгрессии отвечает осаждение алевро-пелитового материала из взвеси в зоне слабого влияния плотностных потоков.

Преобладающим в сводном разрезе является первый тип циклотемы с наиболее полной последовательностью накопления (рис. 7).

Изменчивость состава и мощности отложений обусловлено морфологией конусов выноса, в дистальной части, по сравнению с проксимальной, идет сокращение мощности и выклинивание литотипов [6].

По результатам литолого-генетического анализа, представляется возможным обобщить типы циклотем в закономерные сочетания, которые можно трактовать как следы законченных процессов осадконакопления. Безусловно, трансгрессивно-регрессивные циклы играют значительную роль в турбидитном накоплении. Некоторыми предшественниками колебания уровня моря только косвенно соотносили с седиментационными системами конусов выноса [2,8]. По мнению автора работы, наиболее активное функционирование режима осадконакопления шло на регрессивных этапах.

Накопившиеся отложения в зоне мелководья размывались и, соответственно, продукты этого процесса аккумулировались на бровке склона в области перехода от мелководья к глубоководью.

По палинспастическим схемам в работе В. В. Юдина [11], можно проследить, как изменяли местоположение палеоформационные зоны.

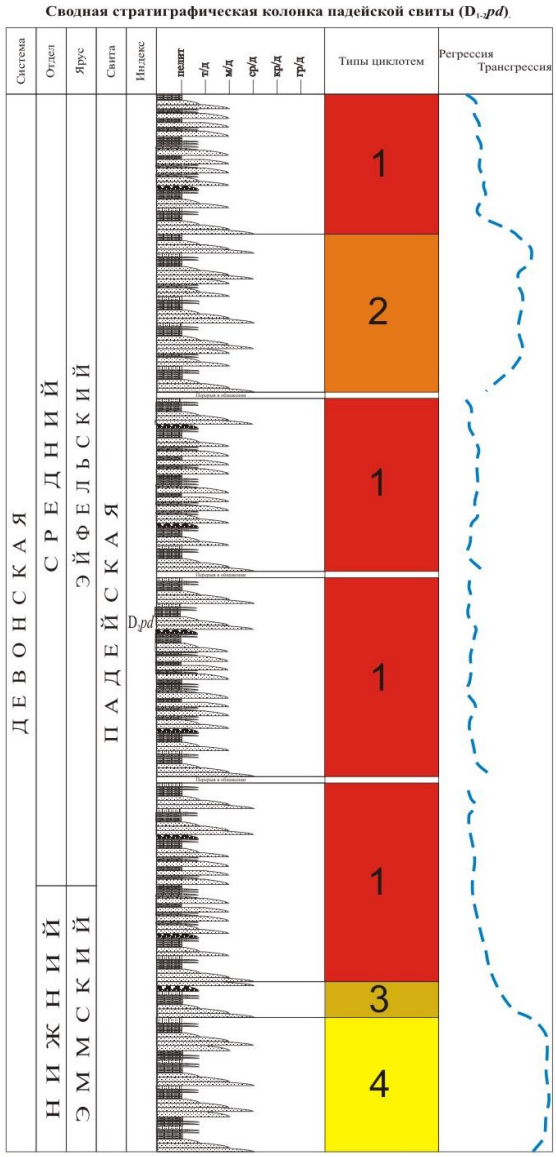

Рис. 7. Распределение типов циклотем в сводном разрезе падейской свиты

Временной интервал, в котором находятся наши глубоководные отложения сланцевой зоны Пай-Хоя, возможно не претерпел значительных подвижек со своего начального осадконакопления.

Терригенный материал поступал с прибрежной зоны по авандельте и транспортировался в глубоководные части морского бассейна с помощью низкоплотностных турбидитных потоков. Такая обстановка имела связь трансгрессивно-регрессивными циклами в эмско-раннеживетском временном интервале. Как известно, длительные колебания уровня моря

существенно влияют на формирование рельефа и осадков прибрежной зоны и шельфа.

Литература

1. Беляев А.А. Литология верхнего девона и карбона сланцевой зоны Пай-Хоя. (Дисс. к. г.-м. н.). М.: МГУ. 1987. 223 с.
2. Беляков Л.Н., Дембовский Б.Я. Некоторые особенности тектоники севера Урала и Пай-Хоя // Геотектоника. 1984. № 2. с. 51-57.
3. Денисова В.С. Результаты бурения гидрогеологических скважин на площадке АД. Отчет о работе за 1967-1969 гг. Т. 1 и 2. 1969.
4. Елисеев А.И., Семенов Г.Ф. Карбонатные, средне-девонско-каменноугольные формации Пай-Хоя // Осадочные палеозойские формации Пай-Хоя. Сыктывкар. 1986. с. 20-26. (Тр. Ин-та геол. Коми фил. АН СССР. Вып. 56).
5. Романовский С.И., Тараканов А.С., Бергер В.И. Литогеодинамический анализ угленосных и турбидитных формаций. Методические рекомендации. Л., 1990. 116 с. (Мингео СССР, ВСЕГЕИ).
6. Рязанов К.П. Условия формирования турбидитов падейской свиты нижнего-среднего девона северо-восточного Пай-Хоя. // Материалы IV Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Новое в геологии и геофизике Арктики, Антарктики и Мирового океана» / Отв. ред.: О.Е. Смирнов, А.Г. Редько, И.П. Моргунова. — СПб.: ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга», 2014. — 79 с.
7. Структурно-генетический и геохимический анализ осадочных формаций: учебное пособие / Е.Г. Панова, С.Б. Шишлов. - СПб.: С-Петерб. гос. ун-т, 2013. – 152 с.
8. Устрицкий В.И. О фациальной зональности среднепалеозойских отложений Пай-Хоя и северной части Полярного Урала. // Сб. статей по геологии и нефтегазоносности Арктики. – Л.: Тр. НИИГА. – 1961. – Т. 123. – Вып. 16. С 41-60.
9. Шишлов С.Б. Структурно-генетический анализ осадочных формаций СПб.: С.-Петерб. горн. ин-т; ЛЕМА, 2010. – 276 с.
10. Шляхов В.И., Шляхова Х.Т. и др. Геологическое строение территории листов R-41-74-Б (в,г), В (в,г), Г; R-41-75-А (в,г), В,Г; R-41-76-В, R-41-86-Б (а,б); R-41-87-А (а,б). Отчёт Югорской ГПСП по работам м-ба 1:50 000 в 1965-67 гг. Воркута, 1968.
11. Юдин В.В. Орогенез севера Урала и Пай-Хоя. Екатеринбург: УИФ "Наука", 1994. 285 с.
12. Юдина А.Б. Кремнисто-терригенная среднедевонская формация Пай-Хоя. // Осадочные палеозойские формации Пай-Хоя: Тр. ИГ Коми фил. АН СССР. – Сыктывкар. – 1986. – Вып. 56. С. 11-19.
13. Bouma A.H. Sedimentology of Some Flysch Deposits. // A graphic approach to facies interpretation. – Amsterdam: Elsevier, 1962. – 168 p.

Reference

1. Belyaev A.A. Lithology of the Upper Devonian and Carboniferous of the Pai-Khoi Shale Zone. (Diss. Of the city of Moscow). Moscow: Moscow State University. 1987. 223 p.
2. Belyakov LN, Dembovsky B.Ya. Some features of the tectonics of the north of the Urals and Pai-Khoi // Geotectonics. 1984. № 2. p. 51-57.
3. Denisova V.S. The results of drilling hydro-geological wells at the BP site. Report on the work for 1967-1969. T. 1 and 2. 1969.
4. Eliseev AI, Semenov G.F. Carbonate, Middle-Devonian-Carboniferous formations of Pai-Hoya // Sedimentary Paleozoic formations of Pai-Khoja. Syktyvkar. 1986. p. 20-26. (Tr., Institute of Geology, Komi Filon, Academy of Sciences of the USSR, issue 56).
5. Romanovsky SI, Tarakanov AS, Berger V.I. Lithogeodynamic analysis of coal-bearing and turbidite formations. Guidelines. L., 1990. 116 p. (Mingeo USSR, VSEGEI).
6. Ryazanov K.P. Conditions for the formation of turbidites of the Padeysky formation of the Lower-Middle Devonian of the northeastern Pai-Khoi. // Proceedings of the IV All-Russian Conference of Young Scientists and Specialists "New in Geology and Geophysics of the Arctic, Antarctic and

the World Ocean" / Otv. Ed .: O.E. Smirnov, A.G. Redko, I.P. Morgunov. - St. Petersburg: FSUE "VNIIOkeangeologiya im. I.S. Gramberg, 2014. - 79 p.
7. Structural-genetic and geochemical analysis of sedimentary formations: textbook / E.G. Panova, S.B. Shishlov. - St. Petersburg: St. Petersburg. state. Univ., 2013. - 152 p.
8. Ustitsky V.I. On the facial zoning of the Middle Paleozoic deposits of Pai-Khoi and the northern part of the Polar Urals. // Sat. articles on the geology and petroleum potential of the Arctic. - L.: Tr. NIIGA. - 1961. - Vol. 123. - Issue. 16. From 41-60.
9. Shishlov S.B. Structural-genetic analysis of sedimentary formations of St. Petersburg: S.-Petersburg. horn. in-t; LEMA, 2010. - 276 with.
10. Shlyakhov VI, Shlyakhova Kh.T. and others. The geological structure of the territory of sheets R-41-74-B (c, d), B (c, d), G; R-41-75-A (c, d), B, G; R-41-76-B, R-41-86-B (a, b); R-41-87-A (a, b). The report of the Ugra CST in the work of mba 1:50 000 in 1965-67. Vorkuta, 1968.
11. Yudin V.V. Orogenesis of the north of the Urals and Pai-Khoi. Ekaterinburg: Ufa Science, 1994. 285 p.
12. Yudina A.B. Siliceous terrigenous medium-Devonian formation of Pai-Khoi. // Sedimentary Paleozoic formations of Pai-Khoi: Tr. IG Komi fil. AN SSSR. - Syktyvkar. - 1986. - Issue. 56. pp. 11-19.
13. Bouma A.H. Sedimentology of Some Flysch Deposits. // A graphic approach to facies interpretation. – Amsterdam: Elsevier, 1962. – 168 p.

STRUCTURAL - GENETIC ANALYSIS OF MIDDLE PALEOZOIC DEPOSITS (PADEY OF FORMATION) OF THE NORTH-EASTERN PART OF THE PAI-KHOI

Kirill Ryazanov

Ph.D. student, St. Petersburg Mining University

Адрес: 21st Line. VO, 2, St. Petersburg, 199106
E-mail: k-r-i-z26@mail.ru

Abstract. *This study is focuses on composition and origin of the terrigenous deposits of the middle Paleozoic of North-East Pay-Khoy Ridge on the based on the analysis of cyclic sedimentary rock associations. Based on the results of lithological and genetic analysis, it seems possible to generalize the types of cyclothems into typical combinations, which can be interpret as traces of completed sedimentation processes. The transgressive regressive cycles play a significant role in turbidites accumulation. The terrigenous material came from the coastal zone along the avandelta and was transporting to the deepwater parts of the sea basin by means of low-density turbidite streams. This situation was relation with transgressive-regressive cycles in the Emsian-Early Givetian time. Long sea level fluctuations significantly influence the formation of the relief and sediments of the coastal zone and the shelf.*

Key words: *Pay-Khoy, turbidites, transgressive-regressive cycles, avandelta, lithotype, type of layers, structural-genetic analysis.*

© Рязанов К.П., 2017

УДК 550.8

К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ИНЕРЦИОННЫХ СИЛ ПРИ ДВУЧЛЕННОМ ЗАКОНЕ ФИЛЬТРАЦИИ

Гасанов И.Р.

Кандидат технических наук, старший инженер НИПИ «Нефтегаз»
Государственной нефтяной компании Азербайджанской Республики

Адрес: Азербайджан, AZ1012, г. Баку, Проспект Зардаби, 88А
E-mail: beyler@inbox.ru

Аннотация. *Как известно, с увеличением градиента давления увеличивается и скорость фильтрации. Повышение скорости фильтрации сопровождается увеличением силы сопротивления потоку, пропорционально квадрату скорости. В связи с этим предложен двучленный закон фильтрации. Этот закон фильтрации впервые был предложен Форхгеймером. Справедливость двучленного закона в дальнейшем была доказана на основе хорошей согласованности его с данными промысловых и экспериментальных наблюдений. Наиболее удачное обоснование двучленного закона фильтрации приводится в работе [1]. В этой работе показано, что предложенная формула совпадает с первыми двумя членами разложения в ряд Тейлора функциональной зависимости между параметрами фильтрационного потока среды, построенной при помощи – теоремы теории размерности. Предлагались и другие законы фильтрации, однако они не нашли широкого распространения, так как менее точно описывают реальные фильтрационные течения. В статье предложены формулы для определения начального градиента и депрессии, которые связаны с увеличением скорости фильтрации и направлены против движения и должны быть дополнительно преодолены. Получен аналитический вид для их определения, который позволяет количественно оценить влияние инерционных сил на дебит скважин. Причем, эти формулы получены как с учетом фильтрации газа, так и с учетом фильтрации нефти. Получен график зависимости этого противоположно направленного градиента давления от депрессии.*

Ключевые слова: *градиент, давление, депрессия, фильтрация.*

При разработке залежей при больших градиентах давления на фильтрацию жидкости в пористой среде влияют инерционные силы, которые создают дополнительные сопротивления, направленные против движения. Таким образом, при больших скоростях течения природа нелинейности закона фильтрации иная, чем при малых скоростях фильтрации.

Следует также отметить, что наличие у жидкости релаксационных (неравновесных свойств) определяет характер сопротивления при движении в пористой среде. Течение через сужения и расширения поровых каналов сопровождается деформацией жидких частиц. Поскольку релаксирующая жидкость реагирует на изменение условий с некоторым запаздыванием, то в зависимости от скорости движения характер сопротивления будет меняться. Когда течение достаточно медленное, соответственно медленно происходят деформации жидких частиц, и жидкость успевает реагировать на эти изменения. С увеличением скорости движения время прохождения через сужение уменьшается, и жидкие частицы не успевают деформироваться. Это приводит к увеличению сопротивления движения [2, 3].

В работе определяется давление, которое образуется в связи с влиянием инерционных сил. Как известно, закон Дарси представляется в виде $\upsilon = \frac{k}{\mu}\nabla p$, а двучленный закон фильтрации имеет вид [4]:

$$b\upsilon^2 + \frac{\mu}{k}\upsilon - \nabla p = 0. \qquad (1)$$

Здесь

$$b = \frac{\beta\rho}{\sqrt{k}},\ \beta = \frac{12\cdot 10^{-5}}{m}\left(\frac{d_{эф}}{\sqrt{k}}\right)^2,\ d_{эф} = 4\sqrt{\frac{2k}{m}}, \qquad (2)$$

в котором значение b определяется по данным Е.М.Минского [5].

В выражении (2) ρ – плотность жидкости, m – пористость породы, d –

диаметр зерен, составляющий породу. Определение *d*, как правило, требует предварительного анализа исследуемой среды и довольно трудоемких экспериментов. В.Н.Щелкачев предложил в качестве линейного параметра *d* брать величину, пропорциональную корню квадратному из проницаемости. Путем обработки известных экспериментальных данных В.Геертсма [6] показал, что для многих образцов пород $b = 0,005\,\rho / k^{0,5}\, m^{5,5}$.Эта зависимость удобна тем, что в нее не входит неизвестный параметр *d*.

По данным Г.М.Ломизе [7, 8],

$$b = \alpha\rho d_{бл} / 120k\left(1-m\right). \qquad (3)$$

Последнее выражение для трещиноватой среды есть результат обобщения зависимости $b = \rho d / 120k\left(1-m\right)$, полученной Б.Ф.Степочкиным на основе обработки экспериментальных данных для большого диапазона размеров твердых частиц, слагающих продуктивные пласты.

Роль твердых частиц породы в формуле (3) играют блоки, средний линейный размер которых обозначен через $d_{бл}$; $\alpha \approx 1,69$ – поправочный коэффициент по Г.М.Ломизе; m – трещинная пористость, равная отношению объема трещин по всему объему трещиноватой среды.

Существуют и другие менее известные формулы. Все это показывает, что в зависимости от скорости фильтрации значение *b* изменяется в широком диапазоне. С увеличением скорости значение в формуле (1) члена $b\upsilon^2$ не только становится соизмеримо с членом $\frac{\mu}{k}\upsilon$, но и становится намного больше. В связи с чем полученное значение скорости фильтрации оказывается меньше, чем по закону Дарси. То есть для скорости фильтрации можно написать следующее выражение:

$$\upsilon = \frac{k}{\mu}\left(\nabla p - \gamma_v\right). \qquad (4)$$

Здесь γ_v – градиент давления, который направлен против движения и связан с влиянием инерционных сил.

После некоторых преобразований из (1) действительно можно получить формулу (4), где

$$\gamma_v = \nabla p\left(1-\frac{1}{\eta_0}\right) + \frac{\mu^2}{k^2}\cdot\frac{1}{4b}\left(2-\frac{1}{\eta_0}\right),$$

$$\eta_0 = \frac{1}{2}\sqrt{1+4b\frac{k^2}{\mu^2}\nabla p}. \qquad (5)$$

Как видно, градиент инерционного давления γ_v прямо пропорционален ∇p, μ, η_0, b и обратно пропорционален коэффициенту проницаемости *k*.

Можно показать, что $\lim\limits_{b\to 0}\eta_0 = \frac{1}{2}$, $\lim\limits_{b\to 0}\gamma_v = 0$.

Следует также отметить, что с уменьшением скорости фильтрации при двучленном законе фильтрации уменьшается и дебит скважины. Если при линейном законе фильтрации для дебита нефти существует формула Дюпи в виде [4]:

$$Q = \frac{2\pi kh}{\mu \ln\frac{r_k}{r_c}}\left(p_k - p_c\right), \qquad (6)$$

и для идеального газа в виде [3]:

$$Q = \frac{\pi kh}{\mu p_{ат} n\frac{r_k}{r_c}}\left(p_k^2 - p_c^2\right), \qquad (7)$$

то при двучленном законе можно эти формулы представить в виде:

для нефти:

$$Q = \frac{2\pi kh}{\mu \ln \frac{r_k}{r_c}} \left(\Delta p - \Delta p_v \right), \qquad (8)$$

где $\Delta p = p_k - p_c$;

для газа:

$$Q = \frac{\pi kh}{\mu p_{\text{ат}} \ln \frac{r_k}{r_c}} \left(\Delta P - \Delta p_v \right), \qquad (9)$$

где $\Delta P = p_k^2 - p_c^2$.; Δp_v – давление, которое направлено против движения и связано с влиянием инерционных сил.

Теперь получим формулу для Δp_v.

Как известно, для дебита нефти при двучленном законе фильтрации существует выражение [4]:

$$p_k - p_c = \frac{Q\mu}{2\pi kh} \ln \frac{r_k}{r_c} + Q^2 \cdot \frac{b}{4\pi^2 h^2} \left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{r_k} \right), \qquad (10)$$

а для газа [4]:

$$p_k^2 - p_c^2 = \frac{Q\mu p_{\text{ат}}}{\pi kh} \ln \frac{r_k}{r_c} + Q^2 \cdot \frac{\rho_{\text{ат}} p_{\text{ат}} \beta}{2\pi^2 h^2 \sqrt{k}} \left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{r_k} \right). \qquad (11)$$

Левую часть в обеих формулах обозначим через $\Delta\varphi$, и коэффициент при Q и Q^2 обозначим соответственно через A и B. Тогда получается выражение в виде:

$$BQ^2 + AQ - \Delta\varphi = 0. \qquad (12)$$

Проведем следующие преобразования:

$$Q = -\frac{A}{2B} + \sqrt{\left(\frac{A}{2B}\right)^2 + \frac{1}{B}\Delta\varphi} = \frac{A}{2B}\left(-1 + \sqrt{1 + \frac{4B}{A^2}\Delta\varphi} \right) =$$

$$= \frac{A}{2B}\left(-1 + 2\eta_1\right) = \frac{A}{2B}\left(-1 + \frac{4\eta_1^2}{2\eta_1} \right) = \frac{A}{2B}\left(-1 + \frac{1 + \frac{4B}{A^2}\Delta\varphi}{2\eta_1} \right) =$$

$$= -\frac{A}{2B} + \frac{A}{4B\eta_1} + \frac{1}{A\eta_1}\Delta\varphi = \frac{1}{A\eta_1}\left(\Delta\varphi - \frac{2\eta_1 - 1}{4B/A^2} \right) =$$

$$= \frac{1}{A}\left(\frac{\Delta\varphi}{\eta_1} - \frac{2 - \frac{1}{\eta_1}}{4B/A^2} \right) = \frac{1}{A}\left(\Delta\varphi - \Delta\varphi + \frac{\Delta\varphi}{\eta_1} - \frac{2 - \frac{1}{\eta_1}}{4B/A^2} \right) =$$

$$= \frac{1}{A}\left[\Delta\varphi - \left(\Delta\varphi\left(1 - \frac{1}{\eta_1}\right) + \frac{2 - \frac{1}{\eta_1}}{4B/A^2} \right) \right].$$

Таким образом,

$$Q = \frac{1}{A}\left[\Delta\varphi - \left(\Delta\varphi\left(1 - \frac{1}{\eta_1}\right) + \frac{2 - \frac{1}{\eta_1}}{4B/A^2} \right) \right].$$

Здесь

$$\eta_1 = \frac{1}{2}\sqrt{1 + \frac{4B}{A^2}\Delta\varphi}, \quad \Delta p_v = \Delta\varphi\left(1 - \frac{1}{\eta_1}\right) + \frac{2 - \frac{1}{\eta_1}}{4B/A^2}.$$

Теперь покажем, что $\lim\limits_{B \to 0} \Delta p_v = 0$.

Действительно, так как $\lim\limits_{B \to 0} \eta_1 = \frac{1}{2}$, то

$$\lim_{B \to 0} \Delta p_v = \lim_{B \to 0}\left(\Delta\varphi\left(1 - \frac{1}{\eta_1}\right) + \frac{2 - \frac{1}{\eta_1}}{4B/A^2} \right) = -\Delta\varphi + \lim_{B \to 0} \frac{2 - \frac{1}{\eta_1}}{4B/A^2}.$$

Здесь

$$\lim_{B \to 0} \frac{2 - \frac{1}{\eta_1}}{4B/A^2} = \left[\frac{0}{0}\right] = \lim_{B \to 0} \frac{\left(2 - \frac{1}{\eta_1}\right)'}{\left(4B/A^2\right)'} =$$

$$\lim_{B \to 0} \frac{\left(-\frac{1}{\eta_1}\right)'}{\frac{4}{A^2} \cdot B'} = \lim_{B \to 0} \frac{\frac{1}{\eta_1^2} \cdot \eta_1'}{\frac{4}{A^2} \cdot B'} =$$

$$= \lim_{B \to 0} \frac{\frac{4}{1 + \frac{4B}{A^2}\Delta\varphi} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\frac{4}{A^2}\Delta\varphi \cdot B'}{2\sqrt{1 + \frac{4B}{A^2}\Delta\varphi}}}{\frac{4}{A^2} \cdot B'} = \lim_{B \to 0} \frac{\Delta\varphi}{\left(1 + \frac{4B}{A^2}\Delta\varphi\right)^{3/2}} = \Delta\varphi.$$

Тогда $\lim\limits_{B \to 0} \Delta p_v = -\Delta\varphi + \Delta\varphi = 0$.

Таким образом, мы для дебита газа получаем формулу:

$$Q = \frac{\pi kh}{p_{\text{ат}}\mu \ln\frac{r_k}{r_c}}\left(p_k^2 - p_c^2 - \Delta p_v\right),$$

где

$$\Delta p_v = \left(p_k^2 - p_c^2\right)\left(1 - \frac{1}{\eta_1}\right) + \frac{\mu^2 p_{\text{ат}}\sqrt{k}\ln^2\frac{r_k}{r_c}}{2\rho_{\text{ат}}\beta k^2\left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{r_k}\right)}\cdot\left(2 - \frac{1}{\eta_1}\right),$$

$$\eta_1 = \frac{1}{2}\sqrt{1 + \frac{2\rho_{\text{ат}}\beta k^2\left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{r_k}\right)\left(p_k^2 - p_c^2\right)}{\sqrt{k}\,\mu^2 p_{\text{ат}}\ln^2\frac{r_k}{r_c}}}.$$

Для дебита нефти эта формула имеет следующий вид:

$$Q = \frac{2\pi kh}{\mu \ln\frac{r_k}{r_c}}\left(p_k - p_c - \Delta p_v\right),$$

где

$$\Delta p_v = \left(p_k - p_c\right)\left(1 - \frac{1}{\eta_1}\right) + \frac{\mu^2 \ln^2\frac{r_k}{r_c}}{4bk^2\left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{r_k}\right)}\cdot\left(2 - \frac{1}{\eta_1}\right),$$

$$\eta_1 = \frac{1}{2}\sqrt{1 + \frac{4bk^2}{\ln^2\frac{r_k}{r_c}\mu^2}\left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{r_k}\right)\left(p_k - p_c\right)},\ b = \frac{\beta\rho}{\sqrt{k}}.$$

Схематично графический вид v от ∇p, Q от Δp, η_1 от Δp и Δp_v от Δp имеет следующий вид (рис. 1, рис. 2, рис. 3, рис. 4):

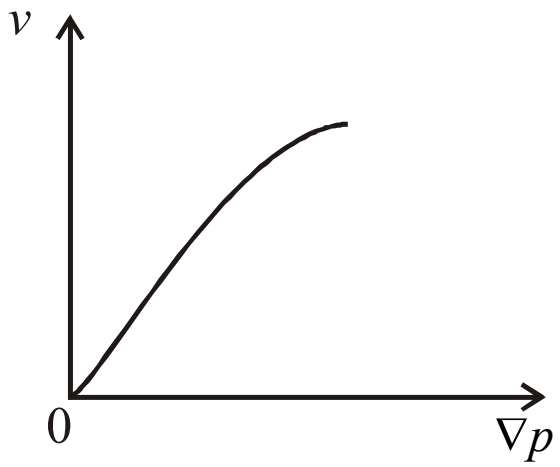

Рис.1. График изменения v от ∇p.

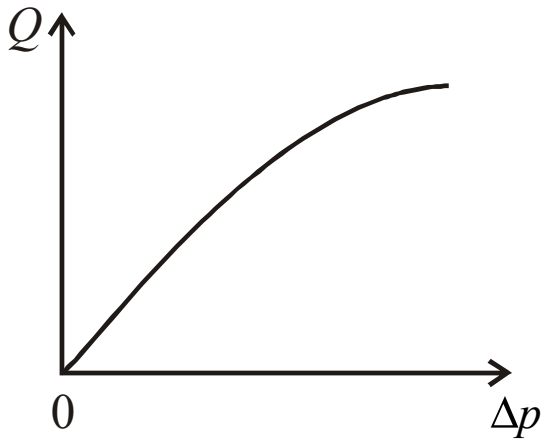

Рис.2. График изменения Q от Δp.

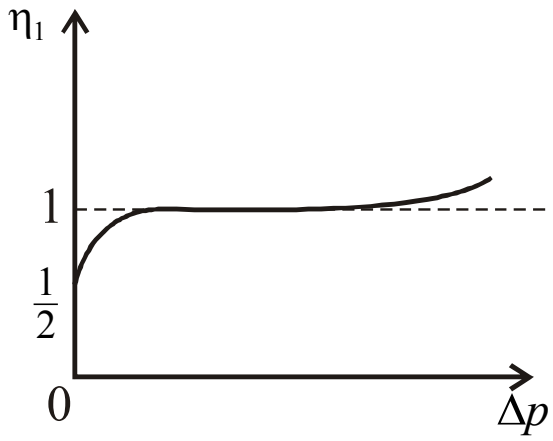

Рис.3. График изменения η_1 от Δp.

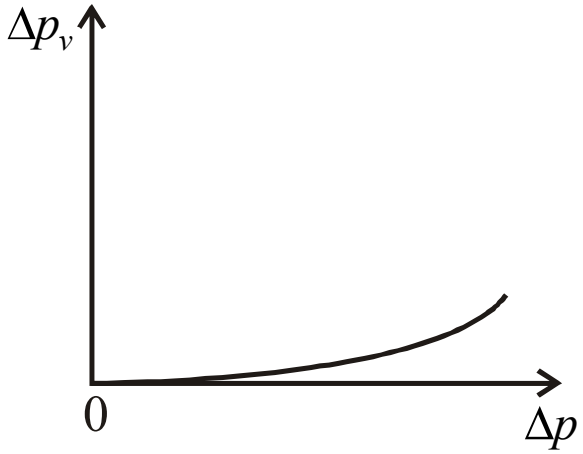

Рис.4. График изменения Δp_v от Δp.

Литература

1. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газа. – М.: Недра, 1972.

1. Мирзаджанзаде А.Х., Кузнецов О.Л., Басниев Х.С., Алиев З.С. Основа технологии добычи газа. – М.: Недра, 2003. –880 с.
2. Мирзаджанзаде А.Х., Аметов И.М., Ковалев А.Г. Физика нефтяного и газового пласта. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. –2005. –280 с.
3. Басниев К.С., Власов А.М., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидравлика. –М.: Недра, 1986. – 303 с.
4. Минский Е.М. О турбулентной фильтрации газа в пористых средах // Тр. ВНИИгаза. – М.: Гостоптехиздат, 1951. –С.64-71.
5. Geertsma I. Estimating coefficient of initial resistance in fluid flow through porous media. Sos. Petrol. Engrs J., 1974, X. vol. 14, №15. p. 445-450.
6. Ломизе Г.М. Фильтрация в трещиноватых породах. – М: Госэнергоиздат, 1951.
7. Пыхачев Г.Б., Исаев Р.Г. Подземная гидравлика. –М.: Недра, 1973.

ABOUT THE STUDY OF THE INFLUENCE OF INERTIAL FORCES AT THE TWO-TERM FILTRATION LAW

Iliyas Gasanov

PhD, Senior Engineer, NPIP "Neftegas" of the State Oil Company, Azerbaijan Republic

Address: 88A, Zardabi Avenue, AZ1012, Baku, Azerbaijan
E-mail: beyler@inbox.ru

Abstract. *As is known, as the pressure gradient increases, the filtration rate also increases. An increase in the filtering rate is accompanied by an increase in the resistance to flow, in proportion to the square of the velocity. In this regard, a two-term filtration law is proposed. This law of filtration was first proposed by Forchheimer. The validity of the binomial law was subsequently proved on the basis of its good consistency with the data of field and experimental observations. The most successful justification for the two-term filtration law is given in [1]. In this paper, it is shown that the proposed formula coincides with the first two terms of the Taylor series expansion of the functional dependence between the parameters of the filtration flow of the medium constructed with the help of the -theorem of dimension theory. Other filtration laws were proposed, but they were not widely used, since they less accurately describe the real filtration currents. The article proposes formulas for determining the initial gradient and depression, which are associated with an increase in the filtration rate and are directed against movement and must be overcome further. An analytical form has been obtained for their determination, which makes it possible to quantify the effect of inertial forces on well production. Moreover, these formulas are obtained both taking into account the filtration of the gas, and taking into account the filtration of oil. A graph of the dependence of this oppositely directed pressure gradient on depression is obtained.*

Key words: *gradient, pressure, depression, filtration.*

© Гасанов И.Р., 2017

УДК 528.8

CLASSIFICATION OF REMOTE SENSING IMAGERY BASED ON DENSITY AND FUZZY C-MEANS ALGORITHM

Le Hung Trinh	*Dinh Sinh Mai*
Le Quy Don Technical University	Le Quy Don Technical University

Address: 236 Hoang Quoc Viet street, Hanoi, Vietnam
E-mail: trinhlehung125@gmail.com

Abstract: *The goal of data clustering is to divide a set of data into different clusters, so that the data in the same cluster show some similar characteristics. There are many spatial clustering method for satellite image segmentation, such as k-Means, c-Means, Iso-data, Minimum distance algorithms. Each method has certain advantages and disadvantages, but generally they are based on brightness value to divide the pixels of the image in to clusters. Actually the probability of occurrence of frequency of appearance of pixel have certain effects on clustering results. In this paper we propose a method for clustering satellite imagery based on density. It consists of two main steps: find cluster centroid using density and data clustering using fuzzy c-Means algorithm (DFCM). The results obtained in this study can be used to potentially improve classification accuracy of satellite image.*

Keywords: *: clustering, density, fuzzy c-means, remote sensing, land cover.*

1. Introduction

Remote sensing data clustering is an extremely important part of satellite image processing (Torahi and Chai, 2011; Mai et al., 2016; Trinh and Mai, 2015; Mai et al., 2015). The results of satellite image classification can be used for a variety of purposes, such as natural resource research and environmental monitoring, urban planning *and ensure national defense* and security. Meanwhile, optical remote sensing data sources are often affected by weather conditions and the accuracy of the receiver, this make the image classification more complicate.

There are many satellite image classification methods (Han et al., 2005; Gordo et al., 2013), such as manual thresholds methods (Yang et al., 2016), unsupervised classification methods (Genitha and Vani, 2013), supervised classification methods (Jog and Dixit, 2016) and method based on Fuzzy logic (Rauf et al., 2009). These methods often use some common algorithms, such as K-means, c-Means, Iso-data, minimum distance and Fuzzy c-means. These clustering algorithms are *essentially using the same strategy based on brightness to split into clusters (*Jog and Dixit, 2016; Rauf et al, 2009) *without regard to the density of the pixels, while high density pixels are* usually located near the centroid of the cluster (Peherstorfer et al., 2012; Chen et al., 2014; Benmouiza and Cheknane, 2016).

Many scientists in the field of remote sensing data processing have proposed clustering methods based on density of pixels, in which Density Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN) is commonly used for satellite image classification (Khan et al., 2014; Benmouiza and Cheknane, 2016). This algorithm requires only one input parameter and supports the users in determining an appropriate value for it. It discovers clusters of arbitrary shape and divides high density areas into cluster without depend on the size of data. In terms of implementation, *this algorithm is also difficult* to find the optimal radius of the density function around each pixel. In addition, the execution time of this algorithm is quite slow, especially when tested on large datasets, such as satellite imagery (Ngo et al., 2012). To overcome these limitations, many scientists are interested in improving this algorithm. Benjamin et al. (2012) presented a grid-based density estimation method *to improve the speed of clustering (*Peherstorfer *et al,, 2012). Chen et al. (2014)* improved the DBSCAN algorithm by expanding the clusters which uses the margins of the objects, such as a pixel, to

reduce the computation time (Chen et al., 2014). These improvements significantly reduce clustering time, however affect the accuracy of clustering results.

To solve the above problem, this study proposed a method for approximating the centroid of cluster based on the density of pixels. Next step, use approximation centroids for classification satellite imagery using the fuzzy c-means algorithm.

2. Proposal Methodology

2.1. Scientific basic

Density

The concept of density can be understood as the quantity representing the amount of matter in unit of measure (length, area, volume). So, the pixel density is the frequency of the pixel per unit of measure. Usually, the centroid of cluster is the average value of the pixels, so if the pixel has high frequency of appearance, that pixel is closer to the centroid of cluster (Ngo et al., 2012).

Fuzzy c-means algorithm

In general, fuzzy memberships in fuzzy c-means clustering algorithm (FCM) achieved by computing the relative distance among the patterns and cluster centroids (Dezdek et al., 1984). Hence, to define the primary membership for a pattern, FCM algorithm define the membership using value of *m*. The use of fuzzifier gives different objective function as follows:

$$J_m(U,v)=\sum_{k=1}^{N}\sum_{i=1}^{C}(u_{ik})^m d_{ik}^2, \qquad (1)$$

where: $d_{ik}=\|x_k-v_i\|$ is Euclidean distance between the pattern x_k and the centroid v_i, C is number of clusters and N is number of patterns.

Degree of membership u_{ik} is determined as follow:

$$u_{ik}=\frac{1}{\sum_{j=1}^{C}\left(\frac{d_{ik}}{d_{jk}}\right)^{2/(m-1)}}, \qquad (2)$$
$$i=1,\dots,C;\ k=1,\dots,N$$

with $d_{ik}=\|x_k-v_i\|$ or $d_{jk}=\|x_k-v_j\|$ is Euclidean distance between the pattern x_k and the centroid v_i or v_j, C is number of clusters and N is number of patterns. u_{ik} is value of membership function between the pattern x_k and the centroid v_i.

Cluster centroid is computed as follows:

$$v_i=\frac{\sum_{k=1}^{N}(u_{ik})^m x_k}{\sum_{k=1}^{N}(u_{ik})^m}, \qquad (3)$$
$$i=1,\dots,C$$

Next, defuzzification for FCM is made as if $u_i(x_k)>u_j(x_k)$ for j=1,...,C and $i\neq j$ then x_k is assigned to cluster i.

2.2. Proposal methodology

One of the difficulties of clustering algorithms is the initialization of the initial cluster centroid (Jog and Dixit, 2016; Rauf et al., 2009), this affects the steps taken and results clustering, if the centroid of the initiator cluster is too close together or too far apart, it will easily lead to local convergence, which makes the clustering algorithm is low accuracy or is unstable. There should be an approach to initializing the centroid of clusters that makes clustering algorithms stable and efficient. In this study, initialization of cluster center was proposed based on the density of pixels and the fuzzy c-Means algorithm applied to the land cover classification on satellite imagery.

In fact, the image information is stored as numeric values so the problem of image partitions is usually based on the degree of similarity among these values to decide whether an object belongs to any region in

the image. Hence, the key to determine a pixel will belong to certain area is based on the similarity of brightness, which is calculated through a function of the distance in the color space d_{ik} between the pattern x_k and the centroid v_i.

In that, the centroid will be in the samples that the density surrounding the sample data are large. The concept of statistical variance mathematical model is used to solve the problem of selecting a surrounding data points. For the first step, the expected pattern $\bar{z}_i$ is computed by the following equation:

$$\bar{z}_i = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_{ij}, j = \overline{1,k} \quad (4)$$

And standard deviation s_i:

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_{ij} - \bar{z}_i\right)^2}, j = \overline{1,k} \quad (5)$$

with i=1,2,...,d; $X = (x_1, x_2, ..., x_n)$, $x \in R^d$.

Considering the surround of each data point is m-dimensional box with radius defined by the standard deviation is $r = \min_{1<i<d} s_i$. Compute density D_i of pattern x_i:

$$D_i = \sum_{j=1}^{n} T(r - \| x_j - x_i \|) \quad (6)$$

with $T(z) = \begin{cases} 1 \; if \; z \geq 0 \\ 0 \; if \; z < 0 \end{cases}$

In which $T = 1$ if $z \geq 0$ otherwise T=0.

Call V_c is a set of pixels in order of density from high to low. Find pixel x_i satisfying the condition:

$$D_i = \max_{1 \leq j \leq n} D_j \quad (7)$$

Put x_i into the result set V_c according to the following formula:

$$V_c = V_c \cup x_i \quad (8)$$

And X=X\x$_i$. If X= Θ given a set of candidate points V_c, else back to finding D_i.

If V_c is large then we can proceed with this algorithm to reduce the number of candidate clusters. The calculations can be speeded up by dividing the input data set into subsets, then the algorithm can be applied for that subset to finding candidates set V_i. Call V is the set of all candidates, then $\cup V_i = V$, apply this algorithm with set V to finding V_c set. The centroid matrix V can be initialized by choosing the patterns in V_c according to the density of candidates.

The above approach can approximate centroid of clusters, starting the FCM algorithm with these approximate centroid centers will reduce the number of iterations, computational time of the algorithm and improve the accuracy of clustering results. The detailed DFCM algorithm consists of the following nine main steps:

Input: Data set X with n data sample: $X = (x_1..x_n)$ and $x \in R^k$, the number of cluster is C, stop condition ε.

Output: Data clusters.

Step 1: Calculate sample expectations and standard deviations by formula (4) and (5), radius of the sphere $r = \min_{1<i<M} s_i$ in the k-dimensional space.

Step 2: Density calculation D_i by formula (6).

Step 3: Find x_i by formula (7), and assign x_i to result set by formula (8).

Step 4: Calculated $Y = \{x_j, r_i - \| x_i - x_j \| \geq 0\}$ and set $X = X \setminus Y$, if $X = \phi$ then go to *Step* 5, else go to *Step* 1.

Step 5: Given set of centroids $V_c = \{v_j\}$.

Step 6: Calculate the value of the membership function according to the formula (2).

Step 7: Update centroid by formula (3).

Step 8: Stop condition: $\left\| J^{(t+1)} - J^{(t)} \right\| \le \varepsilon$, if true go to *Step* 9, else go to *Step* 6.

Step 9: Assign the pixels to the cluster according to the formula (2) and given the clustering result.

The proposed algorithm consists of 9 steps, where steps 1 to 5 are performed to approximate centroid of clusters; steps 6 to 9 apply the fuzzy c-means algorithm to classify the land cover. This algorithm can be applied to different types of multispectral images, where the number of channels is the dimension of each pixel.

2.3. Indicator

To assess the effectiveness of algorithms and the quality of clusters. We Use a number of indicators that are widely used in clustering problems such as Mean Squared Error (MSE) index (Wang and Bovik, 2009), Image Quality Index (IQI) (Wang and Bovik, 2002).

- MSE index:

$$MSE(x,y) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(\mathrm{x}_i - \mathrm{y}_i), \qquad (9)$$

where, $X = \{x_i\} = \{x_1, x_2, ..., x_N\}$ and $Y = \{y_i\} = \{y_1, y_2, ..., y_N\}$ corresponding to the original image and segment results image. The smaller MSE value is the better quality cluster.

- IQI index:

$$IQI = \frac{4\sigma_{xy}\bar{x}\bar{y}}{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)(\bar{x}^2 + \bar{y}^2)}, \qquad (10)$$

with

$\bar{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i$, $\bar{y} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} y_i$, $\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(\mathrm{x}_i - \bar{x})$, $\sigma_y^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(\mathrm{y}_i - \bar{y})$ and $\sigma_{xy} = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(\mathrm{x}_i - \bar{x})(\mathrm{y}_i - \bar{y})$.

Where, $X = \{x_i\} = \{x_1, x_2, ..., x_N\}$ and $Y = \{y_i\} = \{y_1, y_2, ..., y_N\}$ corresponding to the original image and segment results image. The best value 1 is achieved if and only if $y_i = x_i$, the lowest value of -1 occurs when $y_i = 2\bar{x} - x_i$ with $i = \overline{1, N}$.

2. Experiment

In the experiments, authors have selected the problem of classification on satellite imagery to test the proposed algorithm. In that, step 1 is the initial pre-processing step, select the processing area on the satellite image and Image geometry correction. Implement the DFCM algorithm to classifying into six clusters, based on the centroid of each cluster to assign corresponding to six types of land cover. The final step is to evaluate the quality of the classification results. The details of proposed algorithm for land cover classification from SPOT 5 and Landsat 7 ETM+ multispectral images consists of the following three main steps:

Step 1: Multispectral image preprocessing.

Step 2: Apply proposed method for classifying land cover in remotely sensed imagery. These multispectral images will be classified into six classes representing six types of land covers:

1. Class 1: Rivers, ponds, lakes.
2. Class 2: Rocks, bare soil.
3. Class 3: Fields, grass.
4. Class 4: Planted forests, low woods.
5. Class 5: Perennial tree cops.
6. Class 6: Jungles.

Step 3: Evaluate the accuracy of classification results.

The proposed method is programmed in Visual Studio C ++ 2010.

3.1 Case #1

In this experiment, Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) image taken in 30 September 2009 covering a part of Hanoi city, Vietnam (see Fig. 1) was used. Landsat 7 ETM+ image consists of eight spectral bands with a spatial resolution of 30 meters for band 1 to 5 and 7, 10 meters for panchromatic band (band 8). Spatial resolution for thermal infrared band (band 6) is 120 meters, but is resampled to 30 meters pixels.

The results of land cover classification were shown in Fig. 2, in which 2a, 2b, 2c and 2d are classification results of K-means, DBSCAN, FCM and DFCM proposed algorithm, respectively.

Table 1 showed the comparison of classification results obtained by using K-means, DBSCAN, FCM and DFCM algorithm. As can be seen, there was a significant difference on the area of regions classified by the aforementioned algorithms. The biggest difference was between the regions classified by K-means and DFCM algorithms.

In this study, to evaluate the quality of clusters, we considered the different validity indices, such as Mean Squared Error index (MSE) and Image Quality Index (IQI). It can be seen that the accuracy of land cover classification using K-means algorithm was very low. Many objects, such as bare soil and water, bare soil and sparse vegetation were misclassified. The accuracy of land cover classification was improved when using DBSCAN and FCM algorithms, however, it was not so high.

The results of calculation of IQI and MSE indices by 4 algorithms K-means, DBSCAN, FCM and DFCM were shown in Table 2.

I can be seen that the DFCM provided better classification result than the other algorithms, such as K-means, DBSCAN and FCM.

Fig1. Landsat 7 ETM+ image of the Hanoi region

Table 1.
Results of land cover classification in the experiment 1 region

Class	K-means	DBSCAN	FCM	DFCM
1	8,753%	7,954%	7,055%	6,955%
2	14,447%	16,445%	18,443%	19,442%
3	13,218%	15,215%	20,210%	21,209%
4	25,659%	21,663%	15,670%	14,671%
5	23,651%	22,453%	19,656%	18,657%
6	14,272%	16,270%	18,967%	19,067%

Table 2.
The various validity indices computed from Landsat image in the experimental case #1

Index	K-means	DBSCAN	FCM	DFCM
MSE	0,2413	0,1721	0,0982	**0,0981**
IQI	0,2843	0,4183	0,5643	**0,5631**

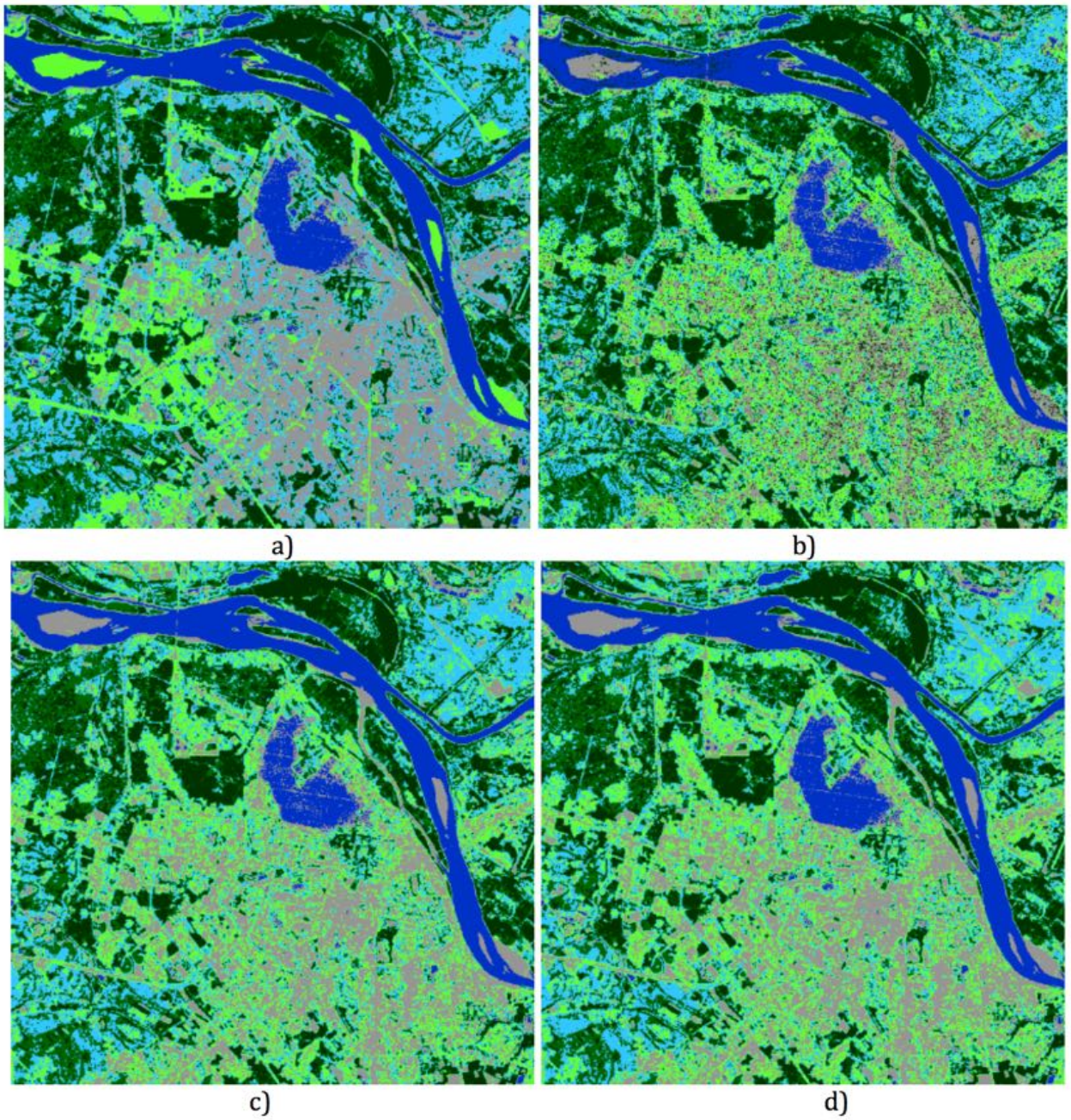

Fig. 2. Result of land cover classification from Landsat image: a) K-means; b) DBSCAN; c) FCM; d) DFCM proposed algorithm

3.2 Case #2

The second experiment is selected in area of Chu Prong district, Gia Lai province (Central highlands of Vietnam). Remote sensing data used in the classification is SPOT 5 multispectral image in December 2009 (Figure 3). SPOT 5 multispectral image consist of five spectral bands with a spatial resolution of 10 meters for band 1 to 3, 20 m for short wave infrared (SWIR) band (band 4) and 5 meters (nadir) for panchromatic band (band 5).

In this example we also classify the image into six classes as for Experiment 1. The classification results are shown in the figures 4 (a-d). It can be seen, *many objects, especially water, are misclassified when classification using K-means and DBSCAN algorithms (Figure 4a, 4b). These errors have significantly improved when using* FCM, *especially DFCM algorithms (Figure 4c, 4d).*

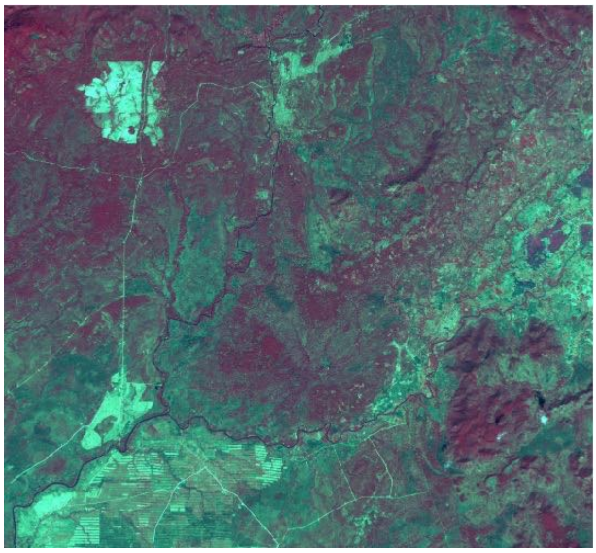

Fig.3 SPOT 5 image in Chu Prong region, Gia Lai province

Table 3 shows the results of determining *the area of six land cover classes. As compared with the results in the experiment 1,* the results also showed that the area of land cover classes is different, in which the biggest difference between K-means and DFCM algorithms.

Table 4 *presents the accuracy assessment of classification* results using K-means, DBSCAN, FCM and proposed algorithms (DFCM).

It can be seen that the K-means algorithm has the lowest accuracy in this data set.

The accuracy of classification results is enhanced by using DBSCAN and FCM algorithms.

The results also show that the accuracy of land cover classification is highest when using proposed algorithm (DFCM).

Table 3.
Results of land cover classification in region of Dak Lak province

Class	K-means	DBSCAN	FCM	DFCM
1	15,287%	10,530%	7,055%	6,016%
2	13,057%	16,294%	18,443%	19,638%
3	14,773%	14,631%	20,210%	21,423%
4	23,942%	20,831%	15,670%	14,819%
5	18,114%	21,590%	19,656%	18,845%
6	14,827%	16,125%	18,967%	19,259%

Table 4.
The various validity indices from SPOT image in the experiment 2 region

Index	K-means	DBSCAN	FCM	DFCM
MSE	0,3283	0,1982	0,1098	**0,0963**
IQI	0,1987	0,5762	0,6731	**0,6984**

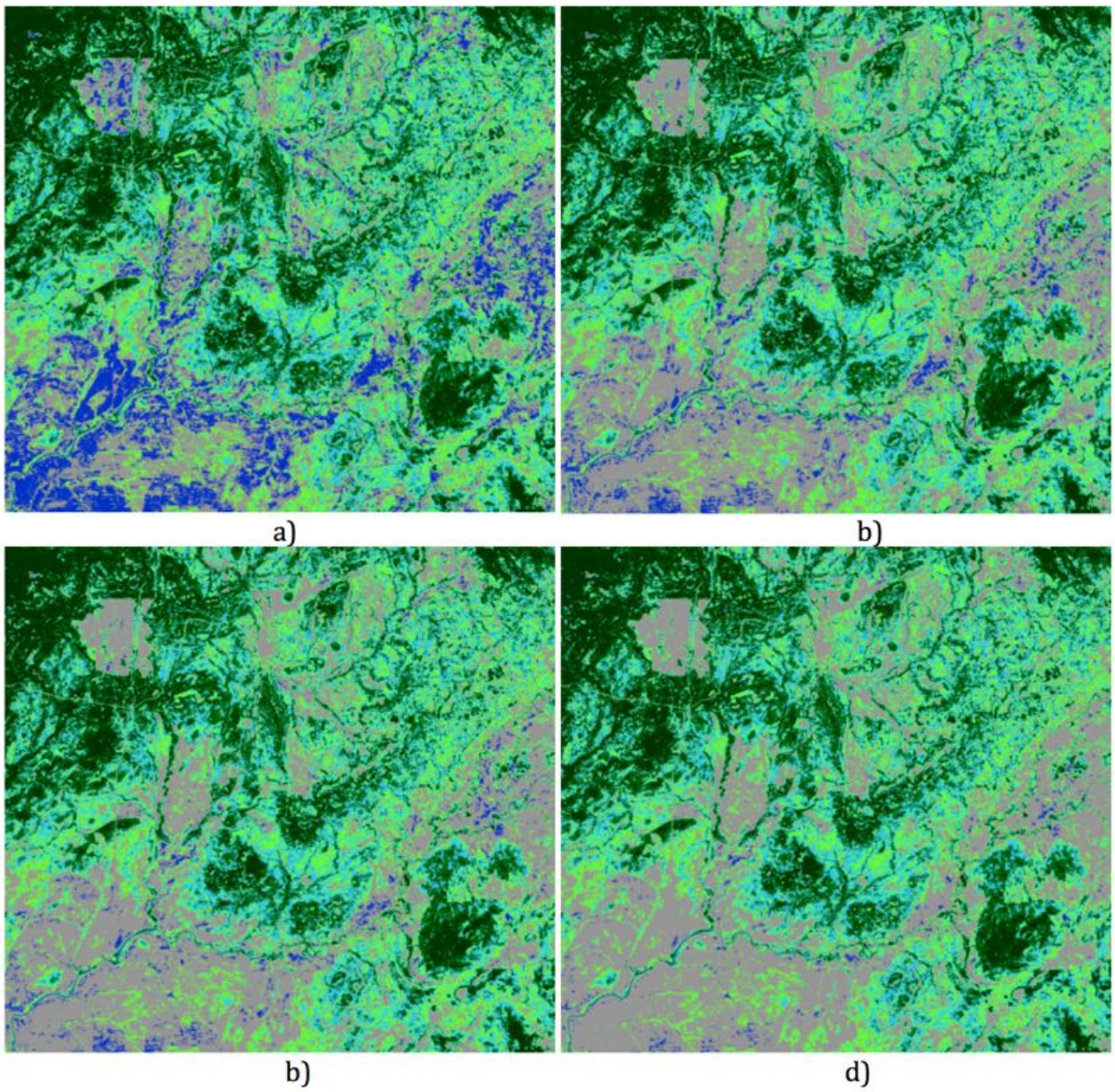

Fig. 4 Result of land cover classification from SPOT image in Gia Lai province: a) K-means; b) DBSCAN; c) FCM; d) DFCM algorithm

3.3 Case #3

In the experiment 3, we used SPOT 5's multispectral (band 1 to 3) and short wave infrared (SWIR, band 4) bands in Tan An district, Long An province. The input image was taken in 2007 with spatial resolution 10 m for multispectral bands and 20 m for SWIR band (Figure 5).

As with the experiment 1 and experiment 2, six classes of land cover was classified by using K-means, DBSCAN, FCM and DFCM algorithms. The results of classification shown in Figure 6 (a-d).

The *analytical results obtained show* that class 1 (rivers, ponds, lakes) was *misclassified into class 2 (rocks, bare soil). Table 5 indicates that there was a significant difference in the area of six land cover classes when classification using K-means, DBSCAN,* FCM *and DFCM algorithms.*

As well as the two experiments above, the biggest difference in area of six land cover classes is between K-means and DFCM algorithms.

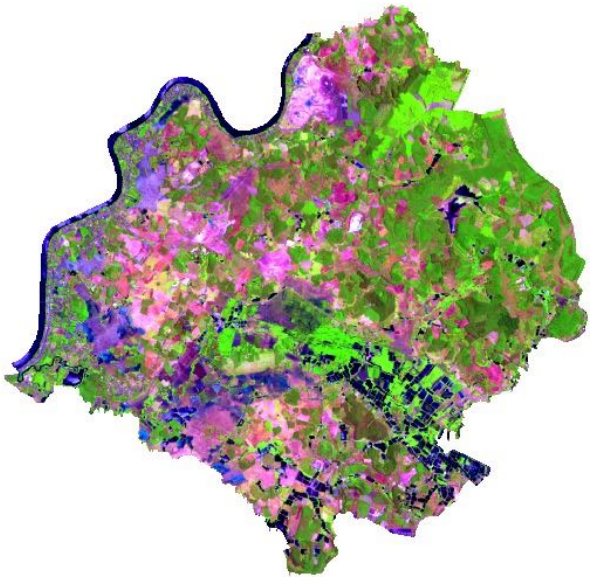

Fig.5 SPOT 5 image in Tan An region, Long An province

Table 5.
Results of land cover classification in the experiment 3 region (Tan An area)

Class	K-means	DBSCAN	FCM	DFCM
1	1,082%	2,978%	6,770%	12,457%
2	28,082%	26,186%	22,394%	16,706%
3	24,059%	22,164%	18,372%	16,476%
4	17,897%	17,518%	16,950%	16,570%
5	13,469%	15,365%	19,157%	21,053%
6	15,410%	15,789%	16,358%	16,737%

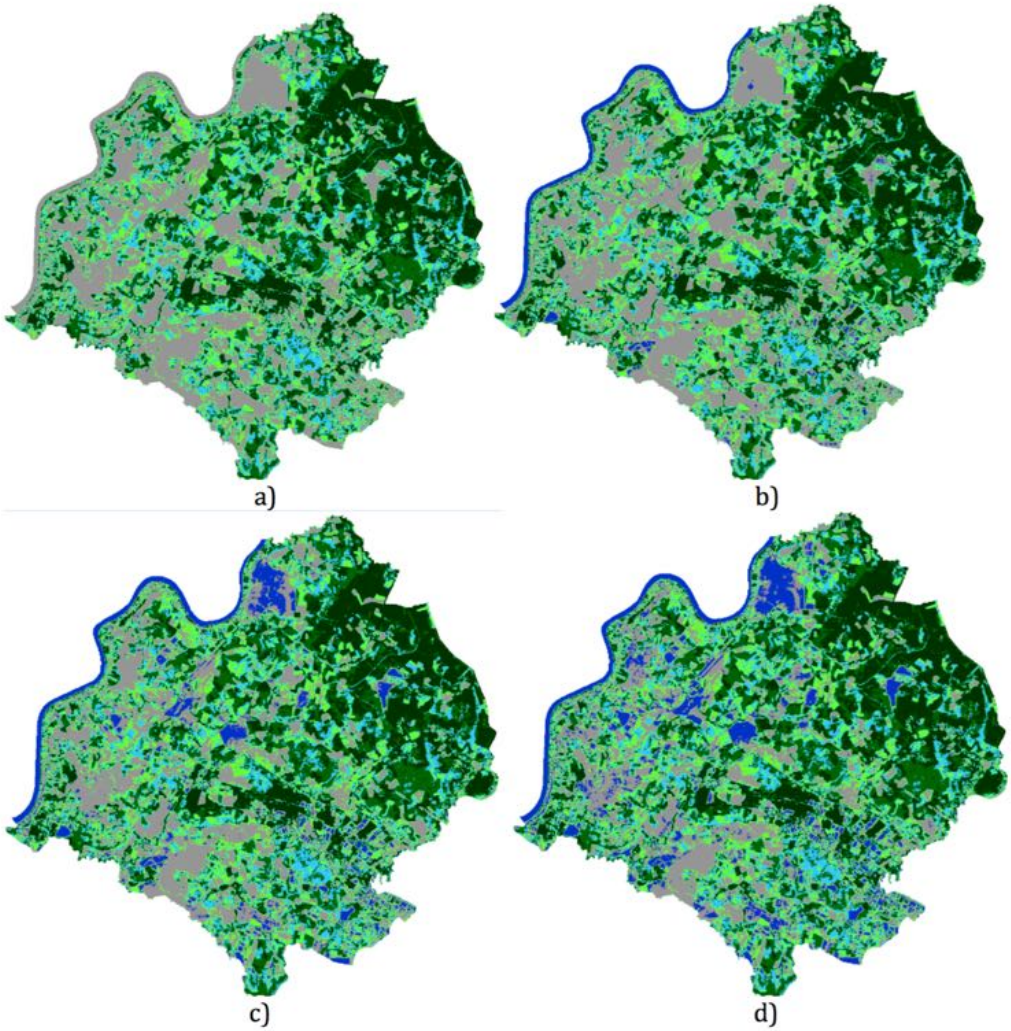

Fig. 6 Result of land cover classification from SPOT image in Tan An province: a) K-means; b) DBSCAN; c) FCM; d) DFCM algorithm

Table 6 shows that the classification accuracy of K-means, BDSCAN, FCM and DFCM algorithms by using MSE and IQI indices. *The obtained results show that the proposed algorithm* has achieved *the highest accuracy when compared to the other algorithms, such as K-means, DBSCAN and* FCM.

Table 6.
The various validity indices computed from the SPOT image in the experiment 3 region (Tan An area)

Index	K-means	DBSCAN	FCM	DFCM
MSE	0,5421	0,3761	0,1762	**0,1287**
IQI	0,3651	0,5198	0,6261	**0,7198**

In summary, from three test areas, the confusion in the classification is often between water and bare soil, especially wet soil, due to the difference in spectral characteristics is not great. The confusion is also found when vegetation classes classification, especially between grasses and trees. With satellite imagery average resolution, the differences of classification results can be acceptable in assessment of land cover on a large area, reducing costs compared to other methods.

3. CONCLUSION

This paper presents a new method for land cover classification by combined pixel density and Fuzzy c-means algorithm. The results showed that the proposed algorithm has significantly *improved the land cover classification accuracy.* In all three experiments with other remotely sensed data, we *carry out 30 times classifications* with K-means, DBSCAN and FCM algorithms and then choose the best results. Meanwhile, we only perform once with proposed algorithm.

The proposed approach can be applied to other types of satellite images, which saves costs and time compared to other ways of land cover classification.

References

1. Benmouiza, K., Cheknane, A. (2016). Density-based spatial clustering of application with noise algorithm for the classification of solar radiation time series, *2016 8th International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC)*, 978-0-9567157-6-0 © IEEE, pp.279-283.
2. Bezdek J., Ehrlich E.W. (1984). Full FCM: the Fuzzy c-means clustering algorithm, *Computers and Geosciences* 10(2), 1 – 11.
3. Chen, D., Yan, Y., Wang, D. (2014). Density Clustering Based on Border Expanding, 2014 10th *International Conference on Natural Computation*, IEEE, pp670-674.
4. Davies, D.L., Bouldin, D.W. (1979). A cluster separation measure, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 1, No.2.
5. Jog, S., Dixit, M. (2016). Supervised Classification of Satellite Images, *2016 Conference on Advances in Signal Processing (CASP)*, 978-1-5090-0849-0/16/$31.00 ©2016 IEEE, pp.93-98.
6. Geerken, R., Zaitchik, B., Evans, J.P. (2005). Classifying rangeland vegetation type and coverage from NDVI time series using Fourier Filtered Cycle Similarity, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, No. 24, p5535–5554.
7. Gordo, O., Martinez, E., Gonzalo, C., Arquero, A. (2013). Classification of Satellite Images by means of Fuzzy Rules generated by a Genetic Algorithm. Latin America Transactions, *Revista IEEE America Latina* **9** (1) pp.743-748.
8. Genitha, C.H., Vani, K. (2013). Classification of satellite images using new Fuzzy cluster centroid for unsupervised classification algorithm, *IEEE Conference on Information and Communication Technologies*, pp. 203-207.
9. Han, J.G., Chi, K.H., Yeon. Y.K. (2005). Land Cover Classification of IKONOS Multispectral Satellite Data: Neuro-fuzzy, Neural Network and Maximum Likelihood Methods, *Lecture Notes in Computer Science*, (3642), pp. 251-262.
10. Khan, K., Rehman, S.U., Aziz, K., Fong, S., Sarasvady, S. (2014). DBSCAN: Past, present and future, *2014 Fifth International Conference on the*

Applications of Digital Information and Web Technologies (ICADIWT), IEEE, pp.232-238, DOI: 10.1109/ICADIWT.2014.6814687.

11. Mai, D.S., Trinh, L.H., Ngo, T.L. (2016). Combining Fuzzy probability and Fuzzy clustering for multispectral satellite imagery classification, *Journal of Science and Technology*, Vol.54 (3), 300 – 313.
12. Mai, D.S., Trinh, L.H., Dao, K.H. (2015). Unsupervised classification using Fuzzy probability and Fuzzy clustering for LANDSAT satellite imagery, *Proceeding of GIS 2015 Conference*, 7-11.
13. Ngo, T.L., Mai, D.S., Nguyen, M.U. (2012). GPU-based Acceleration of Interval Type-2 Fuzzy C-Means Clustering for Satellite Imagery Land-Cover Classification, *12th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA)*, IEEE, pp.992-997.
14. Rauf, K.S., Valentin, V.G., Leonid, P.P. (2009). Fuzzy clustering methods in Multi-spectral Satellite Image Segmentation, *International Journal of Computing* **8**, pp.87-94.
15. Peherstorfer, B., Pflüger, D., Bungartz, H.J. (2012). Clustering Based on Density Estimation with Sparse Grids, KI 2012: Advances in Artificial Intelligence, *Lecture Notes in Computer Science*, pp 131-142.
16. Torahi, A.A., Rai, S.C. (2011). Land Cover Classification and Forest Change Analysis Using Satellite Imagery - A Case Study in Dehdez Area of Zagros Mountain in Iran, *Journal of Geographic Information System*, 3, 1-11.
17. Trinh, L.H., Mai, D.S. (2014). Detection and classification of oil spills in ENVISAT Asar imagery using adaptive filter and Fuzzy logic, *Petrovietnam Journal*, Vol. 05, p. 49-55.
18. Wang, Z., Bovik, A.C. (2002). A universal image quality index, *IEEE signal processing letters*, vol. 9, no. 3, March: 81-84.
19. Wang, Z., Bovik, A.C. (2009). Mean squared error: love it or leave it? A new look at signal fidelity measures, *IEEE signal processing magazine*, January, 1053-5888/09/$25.00©2009IEEE: 98-117.
20. Yang, J., He, Y., Caspersen, J. (2016). A self-adapted threshold-based region merging method for remote sensing image segmentation, *2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (IGARSS), pp.6320-6323.

★

КЛАССИФИКАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПЛОТНОСТИ И FUZZY C-MEANS АЛГОРИТМА

Ле Хунг Чинь	***Динь Щинь Май***
Технический университет им. Ле Куи Дона, Ханой, Вьетнам	Технический университет им. Ле Куи Дона, Ханой, Вьетнам

Адрес: Вьетнам, г. Ханой, улица Хонга Куока Вьета, 236 236 Hoang Quoc Viet street, Hanoi, Vietnam
E-mail: trinhlehung125@gmail.com

Abstract: *Цель кластеризации данных состоит в том, чтобы разделить набор данных на разные кластеры, так что данные в одном кластере показывают некоторые аналогичные характеристики. Существует много методов пространственной кластеризации для сегментации спутниковых изображений, таких как k-means, c-means, Iso-data, алгоритмы минимального расстояния. Каждый метод имеет определенные преимущества и недостатки, но обычно они основаны на значении яркости, чтобы разделить пиксели изображения на кластеры. Фактически вероятность появления частоты появления пикселя оказывает определенное влияние на результаты кластеризации. В этой статье мы предлагаем метод кластеризации спутниковых изображений на основе плотности. Он состоит из двух основных этапов: найти кластерный центр с использованием плотности и кластеризации данных с использованием нечеткого алгоритма c-Means (DFCM). Результаты, полученные в этом исследовании, могут быть использованы для потенциального улучшения точности классификации спутникового изображения.*

Keywords: *кластеризация, плотность, Fuzzy C-means, дистанционное зондирование, растительный покров*

© Le Hung Trinh, Dinh Sinh Mai, 2017

УДК 528.8

ОПТИМИЗАЦИЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ

Гаврилова Л.А.	***Лимонов А.Н.***
Кандидат технических наук, доцент, Государственный университет по землеустройству, Российский университет дружбы народов	Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой аэрофотогеодезии, Государственный университет по землеустройству

Адрес: 105064, Москва, ул, Казакова, 15
E-mail: wernjer@gmail.com

Аннотация: *Точность фотограмметрических преобразований космических снимков зависит от множества факторов: корректности математической модели связи координат точек местности и изображения, алгоритма программного обеспечения, информационных и фотографических свойств снимка и т.п. В программном обеспечении производителей цифровых фотограмметрических станций используют различные аналитические модели фотограмметрического преобразования космических снимков: параметрический метод, аппроксимационный метод, полиномиальные методы, метод линейных преобразований; метод проективно-аффинного преобразования и т.д. В статье приведены результаты фотограмметрической обработки разносезонных космических снимков с помощью различных математических моделей. Сравнение различных способов геометрических преобразований выполнено по космическим снимкам из открытой поисковой системы Google Earth, полученным в зимний, летний и осенний периоды. Для экспериментальных работ была выбрана территория научно-учебной базы «Горное» ГУЗ Луховицкого района Московской области. Оптимизация сезона съёмки производилась сравнением качества трансформирования линейным методом. Для шести снимков трёх сезонов съёмки были произведены линейные преобразования по 8 опорным точкам. Этот процесс оценивался по остаточным расхождениям плановых координат на опорных точках. Наилучший результат дали снимки летнего периода съёмки. Оптимизация математического алгоритма геометрических преобразований выполнялась для снимков летнего периода съёмки. Использовались линейный, проективно-аффинный и нелинейный (полиномиальный) способы трансформирования. Контроль точности производился по 21 контрольной точке, надёжно идентифицируемой на космических снимках и аэрофотоснимках масштаба 1:10000. Пространственные координаты контрольных точек получены из фототриангуляции, построенной по аэрофотоснимкам масштаба 1:10000. Наибольшая точность получена при использовании проективно-аффинного способа преобразований. Для этого способа СКП плановых координат составила 3,17 м, что соответствует по точности масштабу 1:6500. Анализ результатов фотограмметрических преобразований в целях оптимизации выбора сезона космических снимков и выбора математического аппарата показывает: оптимальными для создания кадастрового плана являются космические снимки, полученные в летний сезон; наибольшая точность получена при использовании проективно-аффинного способа преобразований. Применяя линейный способ преобразований и проективно-аффинный способ уравнивания, космические снимки (открытого доступа) летнего сезона съёмки возможно использовать для создания плана масштаба 1:6500 и мельче. При этом изображение должно быть обеспечено не менее 8 опорными точками, расположенными по периметру зоны обработки, а поверхность территории иметь уклоны не превышающие 5%.*

Ключевые слова: *космические снимки, оптико-электронные съёмочные системы, изобразительное качество изображения, математическая модель, разрешающая способность съёмочной системы, линейный и проективно-аффинный способы преобразования снимков, кадастровый план, мониторинг объектов недвижимости.*

Космические снимки, полученные с помощью оптико-электронных съёмочных систем, по способу построения изображения с геометрической точки зрения представляют собой совокупность бесконечного количества строк, каждая из которых является центральной проекцией. Это связано с использованием ПЗС-линейки в качестве сенсора. Причём получение строк (сканов) происходит не одномоментно, а через определённые временные интервалы, что приводит к формированию строчного изображения и различиям в элементах внешнего ориентирования каждого скана.

Геометрическая модель получаемого изображения достаточно сложна. Применение строгих аналитических зависимостей между координатами точек местности и координатами их изображений на снимках часто невозможно. В этих

условиях для создания картографической продукции с точностью, сопоставимой с разрешением исходного изображения, применяют различные аналитические модели и методы фотограмметрического преобразования космических снимков.

Как известно, целью фотограмметрических преобразований при создании планово-картографических материалов по аэро- или космическим снимкам является вычисление геодезических (географических) координат точки (элементарной площадки) местности по измеренным координатам точки (пикселя) на снимке.

Точность вычислений координат зависит от множества факторов, из которых главными являются следующие:

- геометрия построения снимка (изображения) в конкретной съёмочной системе,
- фотографическое качество исходных снимков, определяющее информационные свойства снимков, во многом зависящее от сезона съёмки;
- изобразительное качество изображения, определяющее точность наведения курсора (марки) при фотограмметрических измерениях;
- математическая модель обработки, определяемая законом построения изображения.

В программном обеспечении производителей цифровых фотограмметрических станций используют различные аналитические модели фотограмметрического преобразования аэро- и космических снимков из одной проекции в другую. Для преобразований применяют следующие методы:

- параметрический метод, использующий проективные или аффинные преобразования координат соответственных точек снимков и местности. Один из вариантов проективного преобразования известен как метод прямого линейного трансформирования DLT (Direct Linear Transformation);
- аппроксимационный метод известный как метод RPC-полиномов (Rational Polynomial Coefficients), основанный на использовании полиномиальной модели съёмочной камеры;
- полиномиальные методы, использующие полиномы различных степеней для связи координат точек снимка и местности;
- метод линейных преобразований изображений;
- метод проективно-аффинного преобразования изображений и т.д.

От выбора способа преобразований зависит точность конечного планово-картографического материала.

В данной статье приведены результаты экспериментальных работ по оптимизации выбора сезона съёмки и математического аппарата фотограмметрических преобразований космических снимков с целью создания кадастровых планов.

Для проведения исследования из поисковой системы Google Earth отобраны снимки на территорию научно-учебной базы ГУЗ «Горное», полученные в зимний, летний и осенний периоды (рис.1).

При выборе снимков руководствовались оценкой фотографического и метрического качества с использованием известных критериев.

Известно [1, 2, 3, 4, 5], что погрешность измерения координат на снимке определяется инструментальной точностью

позиционирования точек изображения. Точность идентификации измеряемой точки снимка и наведения курсора зависит от дискретности изображения, т.е. от размера элементарных ячеек (пикселей), определяющего такой критерий как «линейная разрешающая способность».

Понятие «линейная разрешающая способность» может относиться к оптической части съёмочной системы, сенсору, съёмочной системе в целом, а также к изображению, как результату фотосъёмки.

А Б В

Рис. 1. Космические снимки территории НУБ «Горное»:
А - зимний период, Б - осенний период, В - летний период

Реальная разрешающая способность снимков значительно ниже полученной в лабораторных условиях при использовании миры с контрастом, равным единице. Это обусловлено влиянием поступательных и вращательных движений летательного аппарата, вызывающих динамические сдвиги оптического изображения относительно сенсора, свойствами самого сенсора (например, гранулярностью фотоэмульсионного слоя или размером пикселя) и меньшим контрастом объектов местности по сравнению с контрастной мирой. Скорость движения точки оптического изображения в топографическом аэрофотоаппарате может быть описана [5] выражениями вида:

$$\begin{cases} w_x = w(W_\Gamma)_x + w(W_z)_x + w(\omega_y)_x + w(\omega_z)_x \\ w_y = w(W_\Gamma)_y + w(W_z)_y + w(\omega_x)_y + w(\omega_z)_y \end{cases}, \quad (1)$$

где в правых частях представлены частные производные скорости движения оптического изображения, как функции указанных в скобках линейных и угловых скоростей летательного аппарата.

В работе [5] предложена эмпирическая формула, отображающая зависимость разрешающей способности R, найденной по мире контраста K, от максимальной разрешающей способности R_0, определяемой по мире абсолютного контраста

$$R = R_0 (\frac{K}{2-K})^n \quad , \qquad (2)$$

где n – показатель степени, определяемый эмпирически, для аэрофотоплёнок принято n=0,36 .

При организации съёмочных работ возникает проблема согласования возможности обнаружения деталей объекта на снимке с разрешающей способностью съёмочной системы.

С позиций вероятностного подхода к отображению заданного элемента местности на снимке предложено (4) приближённое выражение, объединяющее разрешающую способность фотографической съёмочной системы в динамических условиях съёмки R_k и знаменатель масштаба съёмки m:

$$P = \exp\left(-\left(\frac{m}{2lR_k}\right)^2\right) . \qquad (3)$$

Откуда получаем

$$m = 2R_k l\sqrt{-\ln P} \quad , \qquad (4)$$

$$R_k = R_{1.0}\sqrt{K} \quad , \qquad (5)$$

где l – разрешение на снимке детали объекта заданного контраста; $R_{1.0}$ – разрешающая способность фотографической системы; R_k – разрешающая способность фотографической съёмочной системы по заданному контрасту К; Р – вероятность решения задачи.

Для определения разрешения при изменяющемся контрасте может быть использована формула вида

$$L_i = L_0\left(\frac{K_0}{K_i}\right)^{0.36} \quad , \qquad (6)$$

где $L_o = m/2R_1$ – линейное разрешение системы для объектов с абсолютным контрастом K_o,

$$K_i = \frac{r_{max} - r_{min}}{r_{max}} \quad ,$$

где r_{max} ,r_{min} – коэффициенты спектральной яркости объектов местности

Связь контраста объекта и фона с разрешающей способностью съёмочной системы является причиной и объяснением зависимости точности измерения координат $m_{x,y}$ от изменения тонового контраста изображения К.

Из формулы (6) видно, что геометрическое разрешение фотографической системы в зависимости от контраста объекта будет изменяться по нелинейному закону.

Реальная разрешающая способность изображений на 20-50% ниже потенциально возможной, полученной в стационарных условиях при абсолютном контрасте мир.

Результаты экспериментальных исследований, выполненные профессорами В.Б. Дубиновским (8) и В.Ф. Чекалиным (9), показали, что при фотограмметрических измерениях погрешность идентификации $\delta_{иден}$ измеряемой точки (нормальное распределение оптических плотностей по полю изображения) и разрешение на снимке ρ_c находятся в следующей зависимости

$$\delta_{иден} = \frac{\rho_c}{2.50} \qquad (7)$$

Выразив разрешение на снимке через разрешающую способность R, получим:

$$\delta_{иден} = \frac{1}{2.50 * 2R} = \frac{1}{5R} = 0.2R \qquad (8)$$

Для оптико-электронных съёмочных систем, создающих строчную структуру изображения, точность измерения координат точек снимков ограничена размером элемента изображения (пикселя). Опытном путём доказано, что точность измерения координат на цифровом растровом изображении составляет 2-3 pix.

Приведённые теоретические обоснования легли в основу выбора оптимального сезона космической съёмки с последующим экспериментальным подтверждением при фотограмметрической обработке разновременных космических снимков.

Сравнение различных способов геометрических преобразований выполнено по космическим снимкам из открытой поисковой системы GoogleEarth.

Для экспериментальных работ была выбрана территория научно-учебной базы «Горное» ГУЗ Луховицкого района Московской области. На данную территорию имеются аэроснимки, полученные в 2004 году топографической камерой RC-30, топографический план масштаба 1:10000, с высотой сечения рельефа горизонталями через 5 метров. На эту же территорию были выбраны из GoogleEarth космические снимки разных сезонов съёмки: летний, осенний и зимний.

Геометрическое преобразование космических снимков в ортогональную проекцию (ортотрансформирование) может осуществляться с помощью различных математических моделей. Для выбора наилучшей математической модели и способа ортотрансформирования использована программа фотограмметрических преобразований «Новая Земля». Точность ортотрансформирования оценивалась по расхождениям плановых геодезических координат контрольных точек (точек с известными пространственными геодезическими координатами).

В качестве контрольных точек выбраны надёжно идентифицируемые точки на космических снимках и на аэрофотоснимках в населенных пунктах Спас-Дощатый и Аргуново. В целях обеспечения репрезентативности в каждом пункте выбрано 25 и 30 точек.

Для определения пространственных геодезических координат опорных и контрольных точек по аэрофотоснимкам масштаба 1:10000 на исследуемую территорию развита пространственная фототриангуляция в программе «Талка».

Для ортотрансформирования были использованы различные математические алгоритмы:

- Линейный;
- Проективно-аффинный;
- Нелинейный.

Опорными точками выбраны: 517, 529, 501, 502, 516, 509, 508, 514, расположенные по периметру зоны обработки.

Для каждого способа ортотрансформирования были использованы одни и те же 8 опорных точек. Остальные точки, пространственные координаты которых получены из фототриангуляции, являлись контрольными.

Трансформирование (выбор математического аппарата связи координат точек снимка и местности) в программе «Новая Земля» производился в трёх вариантах:

Линейный

$$X^{\Gamma} = a_0 + a_1 x + a_2 y;$$
$$Y^{\Gamma} = b_0 + b_1 x + b_2 y; \qquad (9)$$

Связь координат осуществляется с помощью шести параметров, для каждой точки можно составить два уравнения вида (9). Поэтому, требуется не менее трёх опорных точек с известными

плановыми координатами для нахождения параметров связи.

Проективно-аффинный

$$X^{\Gamma} = H\frac{a_1(x-x_0)+a_2(y-y_0)-a_3f_x}{c_1(x-x_0)+c_2(y-y_0)-c_3f_x};$$
$$Y^{\Gamma} = H\frac{b_1(x-x_0)+b_2(y-y_0)-b_3f_y}{c_1(x-x_0)+c_2(y-y_0)-c_3f_y}; \quad (10)$$

Связь координат осуществляется с помощью семи параметров, для каждой точки можно составить два уравнения вида (10). Поэтому, требуется не менее четырёх опорных точек с известными плановыми координатами для нахождения параметров связи.

Нелинейный

$$X^{\Gamma} = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + +a_4xy + a_5y^2; \quad (11)$$
$$Y^{\Gamma} = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + +b_4xy + b_5y^2.$$

Связь координат осуществляется с помощью семи параметров, для каждой точки можно составить два уравнения вида (11). Поэтому, требуется не менее четырёх опорных точек с известными плановыми координатами для нахождения параметров связи.

Для всех шести снимков трёх сезонов съёмки были произведены линейные преобразования по 8 опорным точкам. Этот процесс оценивался по остаточным расхождениям плановых координат на опорных точках. Результаты представлены в табл.1.

Таблица 1.

Линейные преобразования по 8 опорным точкам

Линейный метод, зимний период				
№ точки	Δx, м	Δx², м²	Δy, м	Δy², м²
517	0,7	0,5	0,2	0,0
529	1,5	2,3	0,4	0,1
501	0,9	0,9	0,7	0,4
502	1,4	1,8	1,0	0,9
516	2,0	3,8	1,4	1,9
509	0,3	0,1	0,4	0,2
508	0,0	0,0	1,0	0,9
514	1,0	0,9	1,7	2,8
		10,4		7,3
		1,3		0,9
		1,1		1,0
		Δd²	17,7	
		СКП², м²	2,2	
		СКП, м	1,5	

Линейный метод, летний период				
№ точки	Δx, м	Δx², м²	Δy, м	Δy², м²
517	1,3	1,6	1,9	3,5
529	1,8	3,1	2,5	6,1
501	0,3	0,1	0,5	0,2
502	1,0	0,9	1,2	1,4
516	1,4	2,1	0,4	0,2
509	1,0	1,1	0,1	0,0
508	0,7	0,5	0,2	0,0
514	0,0	0,0	0,6	0,3
		9,3		11,7
		1,2		1,5
		1,1		1,2
		Δd²	0,3	
		СКП², м²	0,0	
		СКП, м	0,2	

Линейный метод, осенний период				
№ точки	Δx, м	Δx², м²	Δy, м	Δy², м²
517	2,3	5,3	0,1	0,0
529	2,5	6,5	1,4	1,9
501	0,0	0,0	1,0	0,9
502	4,2	17,8	2,7	7,1
516	6,0	36,0	0,2	0,1
509	0,0	0,0	2,2	4,8
508	1,1	1,2	1,9	3,4
514	3,1	9,5	0,3	0,1
		76,2		18,3
		9,5		2,3
		3,1		1,5
		Δd²	94,5	
		СКП², м²	11,8	
		СКП, м	3,4	

Как видно из таблицы, наименьшие остаточные расхождения наблюдаются на трансформированных летних снимках. Отчасти, это объясняется лучшим качеством изображения.

После выбора оптимального сезона съёмки, дальнейшему геометрическому преобразованию подверглись только летние снимки. Преобразование производилось тремя математическими методами: линейным, проективно-аффинным, нелинейным (полиномиальным) с использованием одних и тех же опорных точек. Оценка точности производилась по 21 контрольной точке.

Таблица 2.

Оценка точности на контрольных точках

Линейный метод				
№ точки	Δx,м	Δx², м²	Δy, м	Δy², м²
519	0,4	0,1	0,9	0,8
530	0,0	0,0	0,6	0,4
503	2,8	8,0	6,3	40,1
504	4,4	19,3	2,4	5,8
523	0,7	0,4	3,6	13,0
524	0,0	0,0	3,9	14,8
525	0,1	0,0	1,0	1,0
505	0,2	0,0	0,9	0,8
527	0,9	0,8	2,1	4,3
510	0,6	0,4	2,3	5,4
526	0,7	0,4	0,8	0,7
506	1,6	2,4	0,5	0,2
507	3,0	9,2	5,3	28,2
515	1,2	1,5	0,5	0,3
528	1,7	2,7	0,2	0,0
522	2,0	4,1	0,7	0,5
512	3,4	11,8	0,8	0,6
521	3,7	13,8	1,5	2,3
518	3,4	11,6	1,9	3,5
513	3,8	14,3	4,2	17,7
520	2,1	4,2	3,6	12,6
		105,2		152,8
		5,0		7,3
		2,2		2,7
		Δd²	257,9	
		СКП², м²	12,3	
		СКП, м	3,5	

Проективно-аффинный метод				
№ точки	Δx, м	Δx², м²	Δy, м	Δy², м²
519	0,0	0,0	0,4	0,1
530	0,7	0,5	0,8	0,6
503	1,8	3,3	7,8	61,0
504	3,7	14,0	1,1	1,3
523	2,6	6,6	0,2	0,0
524	1,7	2,8	0,4	0,1
525	1,3	1,8	2,4	5,7
505	1,3	1,8	0,9	0,8
527	1,8	3,2	3,8	14,3
510	1,4	2,0	3,4	11,4
526	0,1	0,0	1,0	0,9
506	1,3	1,8	0,2	0,0
507	0,8	0,7	2,1	4,2
515	1,8	3,1	3,0	8,8
528	1,1	1,3	1,9	3,7
522	0,9	0,8	1,1	1,3
512	1,2	1,5	0,6	0,4
521	1,0	0,9	1,8	3,4
518	1,6	2,6	1,6	2,5
513	0,6	0,3	4,8	22,9
520	0,6	0,3	3,7	13,3
		49,5		156,8
		2,4		7,5
		1,5		2,7
		Δd²	206,3	
		СКП²,м²	9,8	
		СКП, м	3,1	

Нелинейный метод				
№ точки	Δx, м	Δx², м²	Δy, м	Δy², м²
519	0,4	0,1	0,9	0,8
530	0,0	0,0	0,6	0,4
503	2,8	8,0	6,3	40,1
504	4,4	19,3	2,4	5,8
523	0,7	0,4	3,6	13,0
524	0,0	0,0	3,9	14,8
525	0,1	0,0	1,0	1,0
505	0,2	0,0	0,9	0,8
527	0,9	0,8	2,1	4,3
510	0,6	0,4	2,3	5,4
526	0,7	0,4	0,8	0,7
506	1,6	2,4	0,5	0,2
507	3,0	9,2	5,3	28,2
515	1,2	1,5	0,5	0,3
528	1,7	2,7	0,2	0,0
522	2,0	4,1	0,7	0,5
512	3,4	11,8	0,8	0,6
521	3,7	13,8	1,5	2,3
518	3,4	11,6	1,9	3,5
513	3,8	14,3	4,2	17,7
520	2,1	4,2	3,6	12,6
		105,2		152,8
		5,0		7,3
		2,2		2,7
		Δd²	257,9	
		СКП², м²	12,3	
		СКП, м	3,5	

Анализ результатов фотограмметрических преобразований в целях оптимизации выбора сезона космических снимков и выбора математического аппарата показывает:

- оптимальными для создания кадастрового плана являются космические снимки, полученные в летний сезон;
- наибольшая точность получена при использовании проективно-аффинного способа преобразований.

Для этого способа СКП плановых координат составила 3,17 м, что соответствует по точности масштабу 1:6500. Следовательно, можно сделать вывод, что применяя линейный способ преобразований и проективно-аффинный способ уравнивания космические снимки (открытого доступа) летнего сезона съёмки возможно использовать для создания плана масштаба 1:6500 и мельче. При этом изображение должно быть обеспечено не менее 8 опорными точками, расположенными по периметру зоны обработки, а поверхность территории иметь уклоны не превышающие 5%.

Литература

1. Живичин А.Н. Дешифрирование фотографических изображений [Текст]/ А.Н. Живичин, В.С. Соколов.- М.: Недра, 1980.- 253с.
2. Леонова Л.Ю. Применение ПЗС матриц для измерения размера микроструктур различной геометрической формы [Текст] / Л.Ю. Леонова// Фотография в XXI веке: сб. тезисов докладов

Международного симпозиума (Санкт-Петербург 13-14 июня 2002 г.).- М.,2002.- С. 102-111.
3. Лобанов А.Н. Фотограмметрия [Текст]: учебник/ А.Н. Лобанов.- М.: Недра, 1984.- 552с.
4. Обиралов А.И. Дешифрирование снимков для целей сельского хозяйства [Текст] /А.И. Обиралов.- М.: Недра,1982.- 144с.
5. Родионов Б.Н. Динамическая фотограмметрия [Текст] / Б.Н. Родионов.- М.: Недра, 1983.-311с.
6. Ильинский, Н.Д. Фотограмметрия и дешифрирование снимков [Текст] / Н.Д. Ильинский, А.И. Обиралов, А.А. Фостиков. – М.: Недра,1986. –347с.
7. Лимонов А.Н. Фотограмметрия и дистанционное зондирование[Текст] / Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А.Учебник.- М., Академический проект,2016.-296с.
8. Дубиновский В.Б. Определение элементов внешнего ориентирования аэрокосмических снимков при дистанционном изучении динамических процессов и явлений [Текст] / В.Б Дубиновский, А.А. Морозов// Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка.- 1984.- №5.- С.66-69.
9. Чекалин В.Ф. Ортофототрансформирование фотоснимков [Текст] /В.Ф. Чекалин.-М.: Недра, 1986.- 166с.
10. ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов [Текст] - М.: ЦНИИГАиК, 2002.
11. Лимонов А.Н. Прикладная фотограмметрия [Текст] / Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А.Учебник.-М., Академический проект,2016.-255с.

References

1. Zhivichin A.N. Decoding of photographic images [Text] / A.N. Zhivichin, V.S. Sokolov .- M .: Nedra, 1980.- 253 p.
2. Leonova L.Yu. Application of CCD matrices for measuring the size of microstructures of various geometric shapes [Text] / L.Yu. Leonova // Photography in the 21st Century: Sat. Theses of the reports of the International Symposium (St. Petersburg, June 13-14, 2002) .- M., 2002.- p. 102-111.
3. Lobanov A.N. Photogrammetry [Text]: textbook / A.N. Lobanov .- M .: Nedra, 1984.-552p.
4. Obiralov AI Decoding of images for agricultural purposes [Text] / AI. Obrilarov .- M .: Nedra, 1982.-144p.
5. Rodionov BN Dynamic photogrammetry [Text] / B.N. Rodionov .- M .: Nedra, 1983.- 311p.
6. Ilinsky, N.D. Photogrammetry and decoding of images [Text] / N.D. Ilyinsky, A.I. Obiralov, A.A. Fostikov. - Moscow: Nedra, 1986. -347p.
7. Limonov A.N. Photogrammetry and remote sensing [Text] / Limonov AN, Gavrilova LAUchebnik.-M., Academic Project, 2016.- 296p.
8. Dubinovsky V.B. Definition of elements of external orientation of aerospace images during remote studying of dynamic processes and phenomena [Text] / V.B Dubinovsky, A.A. Morozov // Izvestiya Vuzov. Geodesy and aerial photography .- 1984.-№ 5.- P.66-69.
9. Chekalin V.F. Orthophototransformation of photographs [Text] / V.F. Chekalin.-M .: Nedra, 1986.-166з.
10. SCISP (SSTA) -02-036-02. Instruction on photogrammetric works when creating digital topographic maps and plans [Text] - M .: TsNIIGAIK, 2002.
11. Limonov A.N. Applied photogrammetry [Text] / Limonov AN, Gavrilova LAUchebnik.-M., Academic Project, 2016.- 255з.

OPTIMIZATION OF PHOTOGRAMMETRIC PROCESSING OF SPACE-BORNE IMAGES FOR MONITORING OF REAL ESTATE

Larisa Gavrilova	***Anatoliy Limonov***
PhD, Associated Professor, The State University of Land Use Planning, RUDN University	PhD, Associated Professor, Head of Department, The State University of Land Use Planning

Address: 15, Kazakova street, Moscow, 105064, Russia
E-mail: wernjer@gmail.com

Abstract: *The accuracy of photogrammetric transformations of space-borne images depends on many factors: the correctness of the mathematical model of the relationship between the coordinates of the terrain and the image, the software algorithm, the information and photographic properties of the image, and so on. In the software of manufacturers of digital photogrammetric stations, various analytical models of photogrammetric transformation of space-borne images are used: parametric method, approximation method, polynomial methods, method of linear transformation of images; method of projective-affine transformation of images, etc. The article presents the results of photogrammetric processing of different-season space-borne images using various mathematical models. A comparison of the different methods of geometric transformations is made for space-borne images from the open Google Earth search system, received in the winter, summer and autumn periods. For experimental work, the territory of the scientific and educational base "Gornoye" of the State university of Land Use Planning of the Moscow region was chosen. Optimization of the acquisition season was performed by comparing the quality of the transformation by a linear method. Linear transformations were made for six images of three seasons of acquisition using 8 reference points. This process was estimated from the residual errors in the plane coordinates at the reference points. The best result was given by photographs of the summer period of the acquisition. Optimization of the mathematical algorithm of geometric transformations was carried out for images of the summer period of the acquisition. We used linear, projective-affine, and nonlinear (polynomial) methods of transformation. Accuracy testing was carried out at 21 control points, reliably identified on satellite imagery and aerial photographs at a scale of 1: 10000. The spatial coordinates of the control points are obtained from the aerial triangulation, constructed from aerial photographs of the scale 1: 10000. The greatest accuracy was obtained by using the projective-affine method of transformations. For this method, the RMSE of the plane coordinates was 3.17 m, which corresponds to an accuracy of 1: 6500 scale. Analysis of the results of photogrammetric transformations in order to optimize the choice of the season of acquisition and the choice of the mathematical apparatus shows: the optimal for creating a cadastral plan are space-borne images obtained in the summer season; the greatest accuracy was obtained by using the projective-affine method of transformations. Applying the linear method of transformations and the projective-affine method of equalization, space-borne images (open access) of the summer season can be used to create a scale plan of 1: 6500 and smaller. At the same time, the image should be provided with at least 8 reference points located along the perimeter of the processing area, and the surface of the territory should have slopes not exceeding 5%.*

Keywords: *satellite imagery, optical-electronic imaging systems, visual image quality, mathematical model, image resolution, linear and projective-affine methods of image transformation, cadastral plan, monitoring of real estate.*

© Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya., 2017

УДК 303.022; 303.732.4; 001.51; 004.046

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Савиных В.П.	Цветков В.Я.
Доктор технических наук, профессор, Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК)	Доктор технических наук, профессор, Московский технологический университет (МИРЭА)

E-mail: cvj2@mail.ru

Abstract: *Статья представляет результаты исследования по применению геоинформационного анализа для исследования Арктических территорий. Описаны глобальные факторы, обуславливающие специфику освоения арктической зоны. Статья доказывает, что одним из подходов комплексного решения проблемы Арктики может служить геоинформационный анализ. Описаны особенности формирования территорий арктической зоны и современное внимание к этому региону. Раскрываются особенности объектов исследования и анализа в Арктической зоне. Освещаются проблемы исследования Арктических территорий. Показано, что геоинформационный анализ обеспечивает глобальность изучения, интегрированную обработку и комплексность анализа данного региона. Статья раскрывает содержание геоинформационного мониторинга как основы исследования Арктических территорий. Статья описывает геополитическое и экономическое значение Арктического региона. Раскрываются этапы исторического освоения Арктического региона. Показано, что США, среди восьми стран, территория которых пересекается Северным полярным кругом, не имеют никаких особых прав на освоение этого региона. В статье отмечена Декларации о защите арктической среды (1991) как один из основных документов, регулирующих отношения в этом регионе. Отмечены действующие договора между Россией и Англией в 1825 г. и между Россией и Североамериканскими Соединенными штатами в Вашингтоне в апреле 1867 г об урегулировании территориальных вопросов в Арктическом регионе. Раскрыто содержание геоинформационного анализа. Показано значение пространственных отношений как территориального и юридического фактора. Раскрывается обеспеченность пространственной информацией Арктических территорий и методы ее получения.*

Keywords: *Арктические территории, полярная география, геоинформационный анализ, комплексная обработка, интеграция данных, информационные ресурсы.*

Введение

В настоящее время в Арктическом регионе происходят существенные изменения окружающей среды. Арктическая морская деятельность значительно расширится в результате повышения спроса на природные ресурсы. Эта деятельность повышает экологические риски [1]. Проблема эффективного использования разнообразной космической информации для изучения и картографирования арктического региона остается достаточно острой, так как единой законченной комплексной методики, использующей все возможности таких данных, на настоящий момент не существует [2]. Национальные интересы Российской Федерации в Арктике связаны с вопросами достоверной оценки информационной ситуации в этом регионе. Принятие решений на основе геоинформационного подхода [3, 4] является основой объективной оценки и комплексного анализа ситуации. Комплексный или системный анализ информационной ситуации в регионе связан с учетом совокупности факторов.

В числе важнейших факторов можно выделить. Геополитические факторы, связанные со стремлением различных государств присвоения частей Арктического региона. Глобальные транспортные, связанные с развитием Северно морского пути и существенного влияния на мировую торговую систему [5]. Демографические и социальные факторы, связанные с развитием условий для проживания в этом регионе. Экологические факторы, связанные с хрупкой экологией в этом регионе, большим числом зон вечной мерзлоты [6] и возможностью появление необратимых

деградационных процессов при неправильном освоении региона [2, 7]. Военные факторы, связанные с попытками использования Арктического региона в военных целях, как средства политического давления и наращивания военного потенциала [8]. Природно ресурсные факторы, связанные с добычей природных ресурсов в первую очередь энергетических, что также влияет на глобальную обстановку в мире.

Одним из подходов к комплексному решению проблемы Арктики может служить геоинформационный анализ [9]. Геоинформационный анализ является методом геоинформатики. Геоинформатика появилась на основе эмпирического познания как прикладная наука, связанная, в первую очередь, с решением практических задач. Однако потребность решения задач в различных предметных областях привела к необходимости интеграции знаний из этих областей. Это создало механизм интеграции знаний на базе геоинформатики [10]. Свойство интеграции методов геоинформатики переносится на геоинформационный анализ. Геоинформатика изучает пространственные объекты и явления, связанные с ними. В область ее исследования попадают не только объекты на земной поверхности, но подземные объекты, а также околоземное космическое пространство [11]. На основе интеграции методов дистанционного зондирования и геоинформатики возникло новое направление - космическая геоинформатика [12, 13]

Мониторинг, проводимый методами геоинформатики, является наиболее универсальным. Он включает все известные технологии изучения земной поверхности, чем создает широкий спектр данных и возможность комплексного исследования земных процессов. Исследование арктических территорий методами геоинформатики и с применением геоинформационного анализа позволяет получать результаты, не получаемые в других научных направлениях [14, 15]. Кроме того, перенос методов геоинформатики в другие области, например обработка изображений в аэрокосмических исследованиях Земли [2] – позволяет получать новые результаты в других областях. Значение Арктического региона многоаспектно, оно связано с экологией, экономическим развитием и геополитикой [16]. Все это повышает актуальность исследований региона с применением разных методов и технологий.

Значение Арктического региона

Геополитическая и экономическая роль Арктики в мире непрерывно растет. Арктические регионы представляют интерес для многих стран мира. Значительные ресурсы нефти и газа, а также транзитные возможности делают Арктический регион геополитическим приоритетом для многих государств современного мира. Арктику можно рассматривать как одну из точек бифуркации [17] современного мира. Арктика является одной из точек бифуркации в развитии глобального мира. Развитие Арктического региона существенно повлияет на мировые интеграционные тенденции, национальные интересы приарктических и других государств

Современное понятие «арктические государства» определяет восемь государств, территория которых пересекается Северным полярным кругом. По этому признаку к арктическим государствам относят Россию, Канаду, США, Норвегию, Данию, Финляндию, Исландию, Швецию. Данное положение было отражено в тексте Декларации о защите арктической среды (1991) [18]. Эти страны приняли немало значимых документов,

нацеленных главным образом на региональное сотрудничество в области охраны окружающей среды в Арктике. Однако в формировании правового положения Северного Ледовитого океана остается определяющая роль только пяти государств, побережья которых выходят к морям Арктики (рис.1). Это роль России, Канады, США, Норвегии, Дании. В международных документах их называют «арктические прибрежные страны». На рис.1 представлен фрагмент Арктической территории в азимутальной проекции.

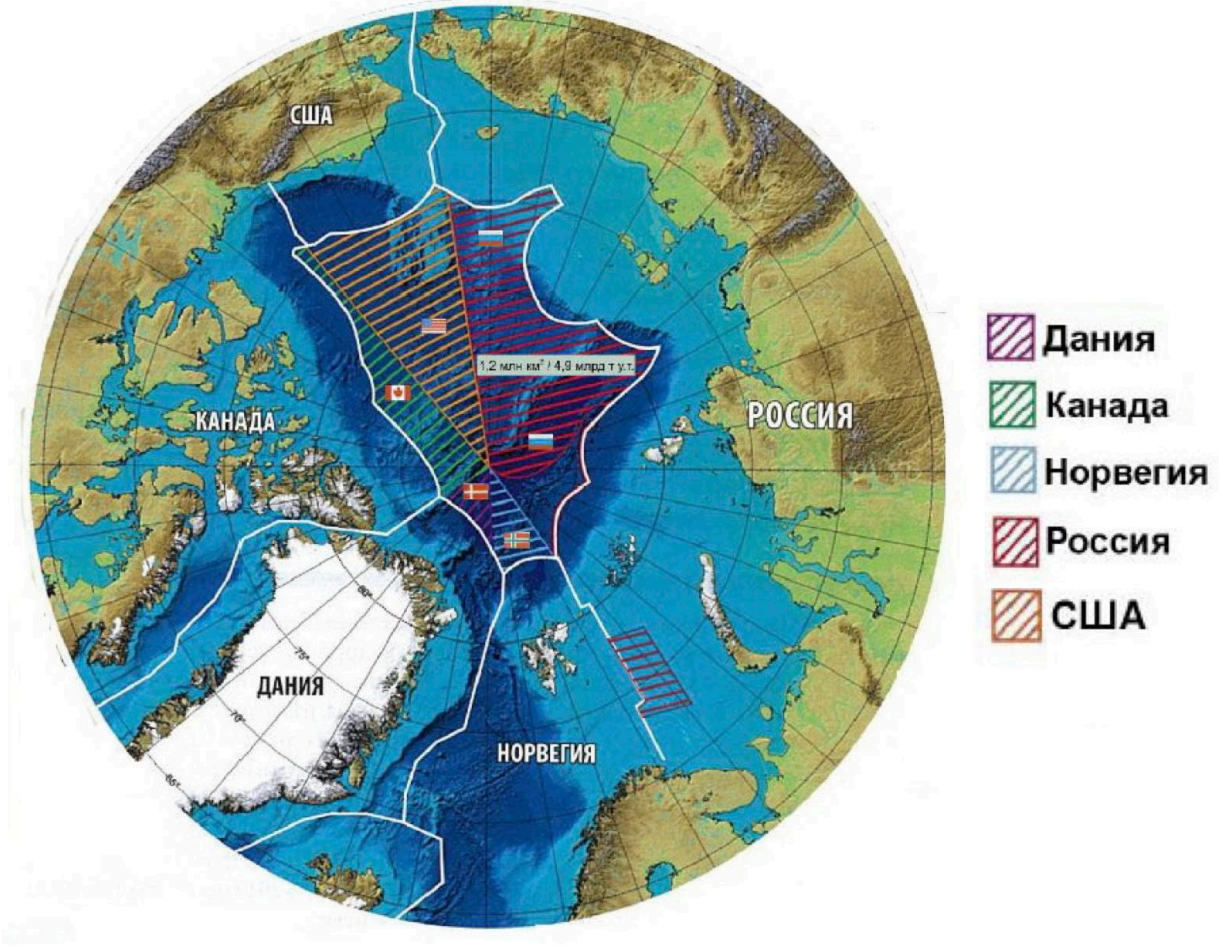

Рис. 1. Азимутальное представление арктического региона.
Границы и области интересов

Первые международные договоры о правах на полярные владения в Арктике предусматривали размежевание по секториальному (меридиальному) принципу. Это означает прохождение границы строго по меридианам вплоть до северного полюса, что показано на рис.1.

Данное условие отражено в договорах между Россией и Англией в 1825 г. и между Россией и Североамериканскими Соединенными штатами в Вашингтоне в апреле 1867 г. об уступке российских североамериканских колоний. Оба эти договора являются действующими. Однако появляется немало охотников изменить это условие.

Декларация о секторном принципе деления Арктики между пятью арктическими прибрежными государствами была принята в Париже (1920г.). Однако юридически в виде международного права эта Декларация не была оформлена. Данное положение не вызывало возражений со стороны

мирового сообщества, до тех пор пока не стало известно о больших потенциальных природных богатствах Арктики.

Площадь Арктики составляет 6 % поверхности Земли [8]. Недра Арктики содержат до четверти мировых запасов углеводородов. Согласно данным геологических служб США и Дании, свыше 100 млрд т условного топлива, 30 % неразведанных мировых запасов газа и 13 % запасов нефти находится в шельфовой зоне арктических морей, на глубине моря не более 500 м. Прогнозируемые запасы нефти и газа в Арктике превосходят ресурсы континентальных окраин любого океана Земли. По мнению экспертов, освоение углеводородных ресурсов Арктики может служить для России гарантией долговременной экономической стабильности и энергетической независимости.

В настоящее время на арктический регион в разной степени претендуют государства: США, Россия, Канада, Норвегия, Дания, Великобритания, Исландия, Бельгия, Ирландия, Швеция, Финляндия, Нидерланды, Германия, а также Япония и Китай и ряд других государств. Китай уже имеет наземную базу на Шпицбергене. Первый китайский ледокол уже несет службу в арктических районах. Планируется построить второй мощный ледокол водоизмещением около 8000 т. Все это делает актуальным исследования Арктической зоны.

Геоинформационный анализ

Геоинформационный анализ [9] это пространственный и тематический анализ с использование разнообразной информации дистанционного и наземного характера. Основой геоинформационного анализа являются геоданные [19-21]. Геоданные интегрируют три группы данных место, время, тема в единую систему данных. Их особенность в том, что они представляют собой системный информационный ресурс [22]. Системность геоданных расширяет возможности анализа, обработки и представления.

Геоинформационный анализ включает предсказательные функции, то есть он способен выдвигать и проверять эмпирические высказывания. В геоинформационном анализе широко применяются методы визуального моделирования [11], которое является основой поддержки принятия решений.

При исследовании любых территорий, а для полярных особенно, важным фактором являются пространственные отношения. Геоинформационный анализ выявляет, исследует и применяет пространственные отношения [23]. В нем широко используют вид пространственных отношений выражаемых через «георeференцию» [24, 25]. В свою очередь георeференция служит инструменом поиска, анализа и извлечения знаний [26]. В сферу георeференции входят, в частности, зависимости между любой информацией (например, документами, наборами данных, картами, изображениями, биографической информацией) и географической локализацией с помощью местонаименований, кодов места (например, почтовые коды), координат и других методов, описывающих пространственные связи и отношения [24].

Основой данных геоинформационного анализа арктических территорий служат данные дистанционного зондирования. Современные технические средства дистанционного зондирования позволяют получать цифровые изображения участков земной поверхности с высоким пространственным разрешением и в широком диапазоне спектра

электромагнитных волн. Развитие получили математические методы обработки цифровых изображений (пространственно-спектральный анализ, вейвлет анализ, мультифрактальный анализ, радарная интерферометрия и др.), которые при соответствующей адаптации алгоритмической базы могут быть с успехом применены для обработки цифровых изображений ледового покрова и других объектов северных территорий

Изображения, полученные в результате дистанционного зондирования, содержат разнообразные однородные области, причём внутриклассовые среднеквадратичные отклонения характеристик часто сравнимы с разбросом между классами. Такие изображения называют сложными. При анализе сложного изображения все известные методы цифровой классификации не могут гарантировать получения требуемого результата.

Основной проблемой при тематической обработке сложных изображений земной поверхности является то, что применение алгоритмов одноуровневой классификации, использующих определённые условия однородности классов объектов и определённое пространство классификационных признаков, зачастую приводит к выделению на изображении сегментов, не соответствующих информационным классам решаемой тематической задачи.

Для преодоления возникающих трудностей необходимо применять многоуровневые алгоритмы классификации, использующие различные условия однородности классов объектов и различные подмножества классификационных признаков, учитывающие структурно-пространственные характеристики изображения. Все это обусловливает необходимость разработки теории и методов тематической обработки аэрокосмических изображений на основе многоуровневых алгоритмов сегментации.

Объекты геоинформационного анализа арктических территорий

Объектами геоинформационного анализа арктических территорий являются акватория Ледовитого океана и северных морей и наземные экосистемы: полярные пустыни, арктические и субарктические тундры.

Полярные пустыни. Данный биом имеет циркумполярное размещение. В Северной Евразии распространен на островах и архипелагах Ледовитого океана (Северный остров Новой Земли, Земля Франца-Иосифа и др.). Ландшафтное разнообразие здесь обеднено, благодаря молодости поверхностей, экстремальности климата. В растительном покрове отмечается полное доминирование споровых растений - водорослей, лишайников, и мхов с отдельными фрагментами цветковых растений.

Арктические тундры. Этот биом имеет циркумполярное распространение. В Европейской России арктические тундры представлены на островах Ледовитого океана (Южный остров Новой Земли, Колгуев и др.). В Азиатской части России этот биом образует сравнительно узкую полосу вдоль побережья Карского, Лаптевых, Северо-Восточного и Чукотского морей (полуострова - Ямал, Таймыр, побережье Якутии и Чукотки) и распространены на архипелагах - Новосибирские острова и Северная Земля.

Субарктические тундры. В структуре ландшафтов преобладают пятнистые и полигональные равнинные тундры, бугристые болота, заросли кустарников в долинах тундровых рек. Исключительно богата флора мхов (150-

200 видов в отдельных пунктах). Локальные флора сосудистых растений по сравнению с предыдущим биомом возрастает более чем в 2 раза и составляет 250-300 видов на 100 км^2.

При проведении геоинформационного анализа необходимо определять уровень антропогенной трансформации природных экосистем и факторы антропогенной трансформации. Кроме полностью трансформированных земель необходимо выявлять геосистемы и экосистемы, которые находятся на разных стадиях деградации или восстановления.

Арктические экосистемы характеризуются суровыми мерзлотными условиями, повсеместным распространением многолетней мерзлых горных пород, имеющих среднегодовые температуры преимущественно ниже -7°С. В поймах, где растительные покров более богатый, куда зимой сносится большое количество снега, отмечаются более высокие (на 1-1,5°С) температуры грунтов. Мощность снежного покрова на остальной территории невелика (до 15-20 см) из-за влияния сильных ветров, перераспределяющих и уплотняющих снег [7].

Экосистемы арктической пустыни и тундры малоустойчивы и легко нарушаются в результате антропогенного воздействия. В арктических пустынях преобладают каменистые пустыни, в растительном покрове — мхи и накипные лишайники.

В связи с предстоящим вводом в эксплуатацию шельфовых арктических месторождений и перевозками с Севера больших объемов углеводородов в России вновь ставится вопрос о целесообразности использования на арктических перевозках крупнотоннажных танкеров с ядерными энергетическими установками [2].

Процессы на арктических территориях

Геоинформационный анализ направлен не только на оценку состояния территорий, но и на выявление и анализ процессов, которые происходят на этих территориях. Значимость воздействия высокоширотных геофизических процессов на природные и антропогенные комплексы всех рангов от глобального до локального признается всеми учеными мира. Полярные регионы непосредственно вовлечены во все глобальные циклы и играют ключевую роль в поддержании природного динамического равновесия. Вместе с тем, большинство современных исследователей, занимающихся моделированием глобальных геофизических процессов, сходятся во мнении, что высокоширотная Арктика является уникальным регионом, в котором последствия нарушения динамического равновесия на нашей планете скажутся в первую очередь и в максимальной степени[27].

Например, глобальное потепление климата должно привести к существенно более высокому повышению средней температуры в Арктике, чем в каком-либо другом регионе. Подобные изменения могут вызвать целый ряд серьезных последствий, включая резкое сокращение ледового покрова Арктического бассейна, ослабление межширотного обмена воздушных масс и таяние многолетнемерзлых грунтов с увеличением атмосферного содержания газовых примесей, усиливающих парниковый эффект, что в свою очередь неизбежно приведет к дальнейшему глобальному потеплению и сопутствующим эффектам [28].

Островное оледенение высокоширотной Арктики быстрее и активнее реагирует на глобальные атмосферные изменения и, поэтому, является более чутким индикатором

климатических перемен, чем ледники умеренных широт или громадные ледниковые покровы Антарктиды и Гренландии. Современные результаты целого ряда гляциологических исследований ледниковых куполов в Арктике указывают на характерные признаки сокращения оледенения в регионе и развития обстановки в соответствии с упомянутым сценарием, который является далеко не самым пессимистичным [29].

Приледниковые гумидные районы зоны полярных пустынь представляют собой наиболее суровый вариант условий существования арктической тундры, что обусловливает резкое снижение качественного состава и видового разнообразия природных сообществ. Несмотря на сравнительную бедность органического мира высокоширотной Арктики, он отличается исключительной цельностью и своеобразием, и вместе с тем крайне малой устойчивостью к внешним воздействиям, что необходимо учитывать при хозяйственном освоении территории.

Показателями малой устойчивости природных сообществ арктических пустынь могут служить суровость климата, прерывистость стока и низкие температуры поверхностных вод, рыхлость, трещиноватость и текучесть грунтов, значительные уклоны рельефа и активность экзогенных процессов, малые мощности, низкая гумусность и бесструктурность почв, малый объем фитомассы и слабое проективное покрытие растительности. Относительная молодость природных ассоциаций высокоширотной Арктики, подтверждающаяся слабым развитием локального эндемизма и всей историей геологического развития региона, также может служить признаком высокой лабильности и низкой регенерационной способности высокоарктических экосистем.

Суровая окружающая среда и удаленность от экономически развитых регионов до последнего времени надежно защищало природу высокоширотной Арктики от антропогенного воздействия. Но времена меняются, и промысловые суда все чаще стали появляться в водах Арктического бассейна, преследуя косяки рыб и стада морских животных, спасающихся на Крайнем Севере от полного уничтожения.

Притягательная сила первозданной природы, ландшафтное своеобразие Заполярья и героика покорения Северного Полюса, а также возросшая на базе недавних политических изменений в мире активность транспортных и туристических агентств усилили приток туристов и авантюристов в этот ранее недоступный для них регион. Это влечет негативные антропогенные воздействия на природу.

Многочисленные межконтинентальные воздушные и морские линии были проложены через Высокоширотную Арктику за последние несколько десятков лет. Кроме того, этот регион является областью стратегических интересов ряда современных военных доктрин и включает несколько полигонов по испытанию ядерного оружия.

Уже сегодня некоторые пустынные территории Заполярья могут быть объявлены районами экологического бедствия по причине радиоактивного заражения местности и складирования отходов в зонах ядерных испытаний, загрязнения прибрежных вод продуктами отработки дизельного топлива, свалок в районах военного присутствия и деятельности по разведке и добыче полезных ископаемых.

Аккомодация человека на «окраине жизни» обязательно должна сопровождаться мероприятиями по защите окружающей среды и консервации уникальных природных объектов и их комплексов. В этом

аспекте значение космического мониторинга Арктических территорий имеет огромное значение.

Координация национальных действий в соответствии с международной деятельностью и правом и осуществление совместных интернациональных природоохранных мероприятий является наиболее плодотворным путем для эффективной организации защиты окружающей среды крупных регионов. Однако, до сих пор, международная стратегия по охране природы высокоширотной Арктики не выработана полностью [30].

Обеспеченность пространственной информацией. Пространственная информация о современном состоянии природной среды Крайнего Севера служит основой оперативного управления развития высокоширотных земель. Существенным препятствием для планирования и проведения комплексных исследований в Заполярье является отсутствие соответствующего информационного и геоинформационного обеспечения. На данный регион имеется ограниченный ряд карт необходимого масштаба, которые не покрывают все высокоширотные зоны и не содержат достаточно детальных и современных сведений о батиметрии, животном мире, геологии и топографии побережья. Имеющиеся топографические, морские и тематические карты, содержащие основной объем информации об Арктическом бассейне, рассредоточены по большому количеству ведомств и не могут быть оперативно обобщены для анализа. Большинство изданных до сих пор карт уже устарело и подлежит обновлению.

Малочисленные ландшафтные, экологические и специализированные тематические карты Заполярья не содержат достаточно детальных и современных сведений и не покрывают должным образом все высокоширотные зоны. Созданием средне- и крупномасштабных карт динамики природных явлений, а тем более прогнозных карт на этот регион специально никто не занимался.

Известны лишь несколько отдельных карт-схем, показывающих изменение положения ледниковых фронтов и скорости движения льда на поверхности некоторых ледников, а также воспроизводящих современные процессы рельефообразования для двух - трех районов Крайнего Севера.

Пространственная информация о состоянии и тенденциях изменения природной среды Крайнего Севера является необходимой для исследования высокоширотных природных процессов. Одним из источников такой информации является космический мониторинг с использованием инфракрасных, мультиспектральных и гиперспектральных датчиков.

Полярноорбитальные средства космического зондирования создают возможности для изучения природы высокоширотных районов Российской Арктики, включая и самые труднодоступные. Вопрос заключается в том, насколько оперативно и полно может быть использован этот потенциал для целей оптимального использования природных ресурсов Крайнего Севера в общечеловеческих интересах без нанесения непоправимого ущерба природе и, в конечном счете, самому человеку. Большое значение в этой связи приобретает теоретическое обоснование, разработка и совершенствование методов сбора и обработки периодической информации о состоянии и изменениях топографических объектов в системе космического мониторинга высокоширотной Арктики.

В силу своего экстремального положения и природных условий огромные, практически неосвоенные территории Крайнего Севера редко

пользуются повышенным вниманием экономических и политических кругов современного общества и, как результат исторического развития, являются, пожалуй, одним из наименее изученных регионов России.

Из-за малочисленности, кратковременности и фрагментарности детальных наблюдений многие представления о природных особенностях Заполярья основываются главным образом на более или менее удачных гипотезах, требующих фактического обоснования и достоверного подтверждения. Крайне мало известно о динамике физико-географических условий, о природе и уровне геофизических воздействий и характере природных изменений, происходящих в Заполярье. В силу традиционного мнения об Арктическом бассейне, как о природном «холодильнике» с замедленным ходом всех естественных процессов и минимальным темпом изменений окружающей среды вопрос о необходимости контроля состояния природной среды на Крайнем Севере воспринимается, зачастую, как чисто риторический.

Проблемы геоинформационного анализа в высокоширотных зонах

Имеются некоторые принципиальные проблемы для геоинформационного анализа в высокоширотных зонах внутри пояса 75—90 северной широты. Не все автоматические спутники, управляемые космические корабли и станции проходят над высокоширотной Арктикой из-за ограниченного наклона орбиты. Спутники, которые достигают достаточно высоких широт, часто оборудованы только системами с низким пространственным разрешением. Нерегулярность освещенности северного полярного региона создает дополнительные трудности для оптического канала информации, который практически бесполезен в течение долгой полярной ночи. Кроме того, оптические сенсоры, особенно сканеры, перенасыщаются над арктическими территориями с высоким альбедо и часто изображают ледники со слишком малым контрастом.

Интенсивные тени на космических изображениях, возникающие при сочетании низкого положения солнца и горного рельефа, затрудняют их обработку [14]. На широте 81° 20’ N ежедневные вариации в высоте солнца над горизонтом не позволяют эффективно использовать изображения для получения их лучшей контрастности. Тепловые инфракрасные или тепловые микроволновые изображения свободны от этих недостатков, но обладают обычно более низким пространственным разрешением.

Главной проблемой для пассивного дистанционного зондирования на Крайнем Севере является, очевидно, своеобразный климат этого региона с ненадежными и неблагоприятными погодными условиями, частой сплошной облачностью и снегопадами, которые маскируют детали поверхности. Над большей частью Центральной Арктики разрывы в сплошном облачном покрове случаются в среднем только раз в два-три дня, и солнечное сияние наблюдается только в течение 25 % от его возможной продолжительности [2, 31, 32].

Заключение

В настоящее время дистанционное зондирование является главным источником геоинформационного анализа арктических территорий. Геоинформационный анализ интегрирует разные технологии сбора и анализа информации. Геоинформационный подход создает возможность интеграции разных

методов и технологий и тем самым позволяет осуществлять глобальный мониторинг земной поверхности. Можно констатировать с одной стороны повышенное внимание и повышенную актуальность к освоению Арктических территорий, с другой стороны существует ряд проблем в ее изучении. Эти проблемы включают: недостаточное внимание к исследованию этих территорий, нехватку инструментальных средств исследования, разрозненность имеющейся информации, отсутствие банка пространственных данных на Арктические территории, отсутствие единого методического подхода к комплексному исследованию Арктики и др. На наш взгляд геоинформационный подход и геоинформационный анализ, если и не решают всех проблем, но все же являются значительным шагом по пути интеграции и комплексного анализа Арктических территорий. Пока нет альтернативы интегрированной обработке и комплексному анализу, а основу этого создает геоинформационный анализ. В комплексе геоинформационный анализ решает не только научные задачи, но и служит основой решения политических вопросов. Он позволяет дать комплексную и обоснованную методику оценки принадлежности территорий. Он позволяет оценку экологического состояния региона и оценку влияния разных стран на экологию этого региона.

Литература

1. Будник С.В. Басейновое природопользование и мониторинг окружающей среды. // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2017. -№4. – с.94-104.
2. Марчуков В.С. Теория и методы тематической обработки аэрокосмических изображений на основе многоуровневой сегментации. / дис. д.т.н. Специальность: 25.00.34 - Аэрокосмические исследования земли, фотограмметрия. – М.: МГУГиК (МИИГАиК), 2011. – 235с
3. Затягалова В.В. Геоинформационный подход при мониторинге загрязнения моря по данным дистанционного зондирования Земли из космоса // Науки о Земле. - 2-2012.- с.80-85.
4. Rozenberg I.N., Tsvetkov V.Ya. The Geoinformation approach // European Journal of Natural History. – 2009. – № 5. – p.102 -103
5. B. A. Lyovin. Earth Exploration from Space for Solving Transport Problems // Russian Journal of Astrophysical Research. Series A. 2017. -3(1). pp. 13-28.
6. Ходаков П.А. Методика учета глобальных изменений климата на стабильность геодезической основы в районах вечной мерзлоты. /дис. к.т.н., 25.00.32. Геодезия. - М.: МГУГиК (МИИГАиК), 2017.- 148с.
7. Милованова М. С. Разработка содержания и технологии геоинформационного обеспечения космического топографического мониторинга арктических территорий. / дисс. к.т. н. Специальность: 25.00.35 – Геоинформатика. – М.: МГУГиК (МИИГАиК), 2011. – 180с.
8. Савиных В.П. Космическая сфера военных действий // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №3 (11). – с.96-103.
9. Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. - М.: Картоцентр-Геодезиздат, 2001. - 224с.
10. Максудова Л.Г., Савиных В.П., Цветков В.Я. Интеграция наук об окружающем мире в геоинформатике // Исследование Земли из космоса. - 2000.- №1. - с.46-50.
11. 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, pp. 531–535. DOI: 10.1134/S003809461407003X.
12. Савиных В.П. Развитие космической геоинформатики // Славянский форум, 2016. -2(12). – с.223-230
13. V. G. Bondur, V. Ya. Tsvetkov. New Scientific

Direction of Space Geoinformatics // European Journal of Technology and Design, 2015, Vol. 10, Is. 4, pp. 118-126.
14. Милованова М.С. Особенности геоинформационного мониторинга арктических территорий // Известия высших учебных заведений. Геодезия и Аэрофотосъемка. – 2012 - № 5 -С. 60-69
15. Романов И. А. Геоинформационный космический мониторинг // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №2 (10). – с.131-137
16. Павленко В.И. Арктическая зона Российской Федерации в системе обеспечения национальных интересов страны // Арктика: экология и экономика 2013. - № 4 (12). – с. 16-25.
17. Мазур И. И. Арктика – точка бифуркации в развитии глобального мира // Век глобализации. – 2010. - №2. – с.93-104
18. Савиных В.П. Исследование северных территорий по материалам ДДЗ // Славянский форум. - 2012. – 2 (2). - с.64-67.
19. Омельченко А. С. Геоданные как инновационный ресурс // Качество, инновации, образование. - 2006. - №1. - с.12- 14
20. S. V. Shaytura. Spatial Information Mining // European Journal of Technology and Design, 2016, Vol.(12), Is. 2, pp. 63-71.
21. Кудж А.С. Сбор и измерение геоданных в науках о Земле// Славянский форум. - 2013. – 2(4). - с.135-139
22. Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоданные как системный информационный ресурс // Вестник Российской Академии Наук, 2014, том 84, №9. - с. 826–829.
23. Цветков В.Я. Пространственные отношения в геоинформатике// Науки о Земле. Выпуск 01-2012.- с.59-61.
24. Hill Linda L. Georeferencing: The Geographic Associations of Information – MIT. Press Cambridge, Massachusetts, London, England- 2009. - 272p.
25. 25.Кулагин В.П. Георeференция в пространственных отношениях // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - №5 (17). – с.80-86.
26. Цветков В.Я. Георeференция как инструмент анализа и получения знаний // Науки о Земле.- 2011. — №2. с.63-65.
27. Change I. P. O. C. Climate change 2007: The physical science basis //Agenda. – 2007. – V. 6, №07. – p.333
28. Современные глобальные изменения природной среды в 2-х томах. Под ред. Н.С. Касимова, Р.К. Клиге. М.: Научный мир, 2006, Т.1, 696с., Т.2, - 775с.
29. Bamber, J.L., et al. (2004). Anomalous recent growth of part of a large Arctic ice cap: Austfonna, Svalbard. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, (12), L12402, doi: 10.1029/2004GL019667.
30. Zeeberg J., Forman S. L. Changes in glacier extent on north Novaya Zemlya in the twentieth century // The Holocene. – 2001. – V. 11, №. 2. – p/161-175.
31. Агранат Г.Д. Возможности и реальности освоения Севера: Глобальные уроки // Итоги науки и техники. Теоретические и общие вопросы географии. М.: ВИНИТИ. 1992. Т. 10. -с.190
32. Савиных В.П., Цветков В.Я. Исследование северных территорий методами геоинформатики // Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. - №5(8). – с.14-23.

References

1. Budnik S.V. Basejnovoe prirodopol'zovanie i monitoring okruzhajushhej sredy. // Problemy jekologicheskogo monitoringa i modelirovanija jekosistem. – 2017. -№4. – s.94-104.
2. Marchukov V.S. Teorija i metody tematicheskoj obrabotki ajerokosmicheskih izobrazhenij na osnove mnogourovnevoj segmentacii. / dis. d.t.n. Special'nost': 25.00.34 - Ajerokosmicheskie issledovanija zemli, fotogrammetrija. – M.: MGUGiK (MIIGAiK), 2011. – 235s
3. Zatjagalova V.V. Geoinformacionnyj podhod pri monitoringe zagrjaznenija morja po dannym distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa // Nauki o Zemle. - 2-2012.- s.80-85.
4. Rozenberg I.N., Tsvetkov V.Ya. The Geoinformation approach // European Journal of Natural History. – 2009. – № 5. – p.102 -103
5. B. A. Lyovin. Earth Exploration from Space for Solving Transport Problems // Russian Journal of Astrophysical Research. Series A. 2017. -3(1). pp. 13-28.

6. Hodakov P.A. Metodika ucheta global'nyh izmenenij klimata na stabil'nost' geodezicheskoj osnovy v rajonah vechnoj merzloty. /dis. k.t.n., 25.00.32. Geodezija. - M.: MGUGiK (MIIGAiK), 2017.- 148s.
7. Milovanova M. S. Razrabotka soderzhanija i tehnologii geoinformacionnogo obespechenija kosmicheskogo topograficheskogo monitoringa arkticheskih territorij. / diss. k.t. n. Special'nost': 25.00.35 – Geoinformatika. – M.: MGUGiK (MIIGAiK), 2011. – 180s.
8. Savinyh V.P. Kosmicheskaja sfera voennyh dejstvij // Obrazovatel'nye resursy i tehnologii. – 2015. - №3 (11). – s.96-103.
9. Savinyh V.P., Tsvetkov V. Ya. Geoinformacionnyj analiz dannyh distancionnogo zondirovanija. - M.: Kartocentr-Geodezizdat, 2001. - 224s.
10. Maksudova L.G., Savinyh V.P., Tsvetkov V. Ya. Integracija nauk ob okruzhajushhem mire v geoinformatike // Issledovanie Zemli iz kosmosa. - 2000.- №1. - s.46-50.
11. 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, pp. 531–535. DOI: 10.1134/S003809461407003X.
12. Savinyh V.P. Razvitie kosmicheskoj geoinformatiki // Slavjanskij forum, 2016. - 2(12). – s.223-230.
13. V. G. Bondur, V. Ya. Tsvetkov. New Scientific Direction of Space Geoinformatics // European Journal of Technology and Design, 2015, Vol. 10, Is. 4, pp. 118-126.
14. Milovanova M.S. Osobennosti geoinformacionnogo monitoringa arkticheskih territorij // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Geodezija i Ajerofotos#emka. – 2012 - № 5 -S. 60-69
15. Romanov I. A. Geoinformacionnyj kosmicheskij monitoring // Obrazovatel'nye resursy i tehnologii. – 2015. - №2 (10). – s.131-137
16. Pavlenko V.I. Arkticheskaja zona Rossijskoj Federacii v sisteme obespechenija nacional'nyh interesov strany // Arktika: jekologija i jekonomika 2013. - № 4 (12). – s. 16-25.
17. Mazur I. I. Arktika – tochka bifurkacii v razvitii global'nogo mira // Vek globalizacii. – 2010. - №2. – s.93-104
18. Savinyh V.P. Issledovanie severnyh territorij po materialam DDZ // Slavjanskij forum. - 2012. – 2 (2). - s.64-67.
19. Omel'chenko A. S. Geodannye kak innovacionnyj resurs // Kachestvo, innovacii, obrazovanie. - 2006. - №1. - s.12- 14.
20. S. V. Shaytura. Spatial Information Mining // European Journal of Technology and Design, 2016, Vol.(12), Is. 2, pp. 63-71.
21. Kudzh A.S. Sbor i izmerenie geodannyh v naukah o Zemle// Slavjanskij forum. - 2013. – 2(4). - s.135-139
22. Savinyh V.P., Tsvetkov V. Ya. Geodannye kak sistemnyj informacionnyj resurs // Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk, 2014, tom 84, №9. - s. 826–829.
23. Tsvetkov V. Ya. Prostranstvennye otnoshenija v geoinformatike// Nauki o Zemle. Vypusk 01-2012.- s.59-61.
24. Hill Linda L. Georeferencing: The Geographic Associations of Information – MIT. Press Cambridge, Massachusetts, London, England- 2009. - 272p.
25. Kulagin V.P. Georeferencija v prostranstvennyh otnoshenijah // Obrazovatel'nye resursy i tehnologii. – 2016. - №5 (17). – s.80-86.
26. Tsvetkov V. Ya. Georeferencija kak instrument analiza i poluchenija znanij // Nauki o Zemle.- 2011. — №2. s.63-65.
27. Change I. P. O. C. Climate change 2007: The physical science basis //Agenda. – 2007. – V. 6, №07. – p.333
28. Sovremennye global'nye izmenenija prirodnoj sredy v 2-h tomah. Pod red. N.S. Kasimova, R.K. Klige. M.: Nauchnyj mir, 2006, T.1, 696s., T.2, - 775s.
29. Bamber, J.L., et al. (2004). Anomalous recent growth of part of a large Arctic ice cap: Austfonna, Svalbard. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, (12), L12402, doi: 10.1029/2004GL019667.
30. Zeeberg J., Forman S. L. Changes in glacier extent on north Novaya Zemlya in the twentieth century // The Holocene. – 2001. – V. 11, №. 2. – p/161-175.
31. Agranat G.D. Vozmozhnosti i real'nosti osvoenija Severa: Global'nye uroki // Itogi nauki i tehniki. Teoreticheskie i obshhie voprosy geografii. M.: VINITI. 1992. T. 10. - s.190
32. Savinyh V.P., Tsvetkov V. Ya. Issledovanie severnyh territorij metodami geoinformatiki // Obrazovatel'nye resursy i tehnologii. – 2014. - №5(8). – s.14-23.

COMPLEX ANALYSIS OF ARCTIC TERRITORIES

Victor Savinykh	*Victor Tsvetkov*
Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK)	Moscow Technological University (MIREA)

E-mail: cvj2@mail.ru

Abstract: *The article presents the results of a study on the application of geoinformation analysis for the study of Arctic territories. Paper describes global factors that determine the specifics of the development of the Arctic zone. The article proves that one of the approaches to a comprehensive solution of the Arctic problem can be geoinformation analysis. Paper describes the features of the formation of the Arctic zone and modern attention to this region. Paper describes the features of objects of research and analysis in the Arctic zone. Paper describes the problems of exploration of the Arctic Territories. The paper proves that geoinformation analysis provides global study, integrated processing and integrated analysis of the region. The article reveals the content of geoinformation monitoring as the basis for the study of the Arctic territories. The article describes the geopolitical and economic significance of the Arctic region. The stages of historical development of the Arctic region are revealed. Paper shows that the US, among the eight countries whose territory is crossed by the Arctic Circle, do not have any special rights to develop this region. Paper describes the Declaration on the Protection of the Arctic Environment (1991) as one of the main documents regulating relations in this region. Paper describes the existing agreements between Russia and England in 1825 and between Russia and the North American United States in Washington in April 1867 on the settlement of territorial issues in the Arctic region. The article reveals the content of the geoinformation analysis. Paper describes the significance of spatial relations as a territorial and legal factor. Paper describes the provision of spatial information of the Arctic Territories and methods of obtaining it.*

Keywords: *Arctic territories, polar geography, geoinformation analysis, complex processing, data integration, information resources.*

© Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya., 2017

УДК 528.2, 519.113.115

ТОПОСЕМАНТИЧЕСКОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ СООТВЕТСТВИЕ В ПРОСТРАНСТВЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

Розенберг И.Н.

Доктор технических наук, профессор, Генеральный директор ОАО «НИИАС»

Адрес: 109029 Москва, Нижегородская ул., 27 стр. 1
E-mail: ig.rozenb2012@yandex.ru

Аннотация. *Статья описывает важную характеристику пространственного анализа топосемантическое информационное соответствие. Статья интегрирует понятия информационное соответствие, семантическая согласованность и топологическая инвариантность в новый термин - топосемантическое информационное соответствие. Описаны виды информационных соответствий и согласованностей в пространственном моделировании. Статья доказывает, что современное пространственное моделирование, основанное на моделирование «точка за точкой», теряет семантику и теряет топосемантическое информационное соответствие. Поэтому необходимо переходить на пространственное моделирование, основанное на применение моделей объектов и информационных ситуаций. Статья показывает, что пространственная несогласованность и информационное несоответствие возникает при определенных концепциях построения моделей и некоторых методах пространственного моделирования. Показано, что топологическая несогласованность является более слабым условием в сравнении с топосемантическим информационным соответствием. Процедура установления топосемантической согласованности помогает восстанавливать утерянные пространственные отношения и утерянную топологию в пространственной модели. Статья предлагает правила нахождения отношения топосемантического информационного соответствия к разным типам объектов: ареальному объекту, линейному объекту, точечному объекту. Эти правила служат основой для восстановления топосемантической согласованности. Показано, что топосемантическое информационное соответствие является когнитивной и интеллектуальной характеристикой и помогает решать интеллектуальные и когнитивные задачи.*

Ключевые слова: *пространственный анализ, геоинформатика, пространственное моделирование, пространственная согласованность, топосемантическое информационное соответствие, информационное соответствие, информационная ситуация.*

Введение

Статья является развитием идей, изложенных в работах [1, 2]. Пространственное информационное моделирование [3] отличается от других методов моделирования разнообразием методов сбора информации. Разнообразие методов сбора информации влечет разнообразие информационных коллекций, форматов, структур и типов данных и геоданных [4, 5]. Для использования в ГИС и интегрированных информационных системах применяемые коллекции данных должны быть согласованными и непротиворечивыми, чтобы гарантировать надежность решений и качество результата. Нельзя сказать, что эта задача не решается. При формировании геоданных унифицируют разнородные данные и создают единую интегрированную информационную основу [6]. Однако это решается на уровне форматов данных и структур данных [7]. Это дает основание говорить о решении задач формального соответствия и структурного соответствия в большинстве геоинформационных технологий и в пространственном анализе.

При осуществлении информационного взаимодействия возникает потребность в дополнительных видах согласованности: информационного соответствия, семантической согласованности и топологической согласованности. В совокупности и в комплексе эти три вида согласованности приводят к интегральной характеристике «топосемантическое информационное соответствие». Следует подчеркнуть различие между топологической инвариантностью и топологической согласованностью.

Топологическая инвариантность описывает свойства фигур. Топологическая согласованность описывает свойства сетей не только в статическом аспекте, но и в аспекте динамики потоков протекающих по этим сетям.

На практике во многих первичных наборах пространственных данных существует недостаток семантической связанности [1], что приводит к пространственным ошибкам, не обеспечивая должным образом надежность результатов запросов, анализа или рассуждения. Другими словами, при сборе информации по точкам, а не по объектам возникает семантический разрыв [8] между представлением «точечной» информационной ситуации и «объектной» информационной ситуации. Точечная информационная ситуация не учитывает пространственные отношения между реальными объектами. Одиночная пространственная модель объекта также не полностью (или совсем не учитывает) учитывает пространственные отношения [9]. Объектная информационная ситуация учитывает пространственные связи и отношения между реальными объектами. Множественная пространственная модель совокупности объектов учитывает пространственные связи и отношения между реальными объектами. Получение пространственного знания или геознания также требует учета пространственных связей и отношений между реальными объектами. Учет пространственных объектных связей и отношений возможен при топосемантическом информационном соответствии.

Таким образом, задача обеспечения топосемантического информационного соответствия является обязательной при пространственном объектном моделировании, при получении знаний, при использовании интеллектуальных методов. Она решается путем применения методов пространственного и когнитивного моделирования.

Проблемы пространственной согласованности и пространственного информационного соответствия

Пространственная согласованность имеет несколько видов. Существуют следующие виды информационное согласованности или соответствия: формальное соответствие данных, формальное соответствие потоков, структурное соответствие между обрабатываемыми данными, структурное соответствие в элементах базы данных, семантическая согласованность по потокам, функциональная согласованность подсистем в информационной системе, топологическая согласованность пространственных сетей и их моделей, информационное соответствие между элементами и частями системы, информационное соответствие между информационными потоками системы, информационное соответствие между целями и ресурсами системы.

Топосемантическое информационное соответствие или топосемантическая согласованность как требование возникает при построении пространственных объектных моделей и информационных объектных ситуаций. Она в основном связана с интерпретацией пространственных отношений [10] между реальными объектами и интерпретацией пространственных отношений между моделями построенными человеком. Это приводит к учету и рассмотрению когнитивных факторов пространственного моделирования.

Например, пространственное отношение абстрактный «многоугольник в многоугольнике»

допустимо в системном анализе и пространственном знании. Однако при выяснении семантического содержания пространственной модели или информационной ситуации оно может быть недопустимым. В частности, «многоугольник - реальное здание» в другом «многоугольнике -реальном здании» — не допустимое пространственное отношение [1]. В то же время «многоугольник- здание на участке земли» и «многоугольник – участок земли» — допустимое пространственное отношение «многоугольник в многоугольнике».

Все это выявляется при использовании семантики, присущей каждому объекту, и является дополнительным условием нахождения и обеспечения корректности пространственных отношений. Топосемантическая (topo — от топологического) согласованность, может быть рассмотрена как форма логической согласованности [11] и пространственной согласованности [6] и информационного соответствия [2]. Она также может быть рассмотрена как форма информационного соответствия в информационных моделях и топологических ситуациях. Проблема топосемантической согласованности возникает в искусственном информационном поле при моделировании типа 3D →2D. Это моделирование (трехмерный объект – двухмерная модель) означает, что трехмерная информационная ситуация реальности преобразуется в двухмерную информационную ситуацию модели. Такое преобразование всегда связано с потерей информации и пространственных отношений. На рис.1 приведены примеры топсемантического информационного соответствия (ТС) и информационного несоответствия (НС).

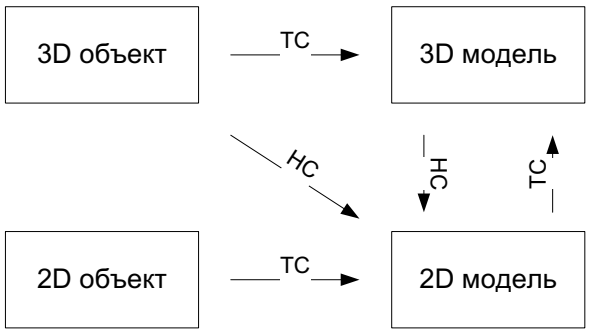

Рис.1. Топосемантическое соответствие и информационное несоответствие при пространственном моделировании

При моделировании на основе принципов подобия [13] 3D →3D (трехмерная ситуация и трехмерная модель) эта проблема не возникает, поскольку при таком преобразовании сохраняются все пространственные отношения. Цифровое моделирование [14] 3D →3D, 2D →2D, 2D →3D обеспечивает топосемантическое информационное соответствие. Моделирование 3D →2D имеет место при картографическом моделировании, при плоском геоинформационном моделировании, при фотограмметрическом моделировании. Оно влечет потерю информации, поэтому характеризуется информационным несоответствием.

Например, при получении изображения с помощью фотокамеры, у которой главная оптическая направлена не ортогонально плоскости фасада здания, изображение прямоугольного фасада (плоская модель) трансформируется в трапецию. При фотографировании двух объектов одинаковых размеров объект, расположенный дальше от точки съемки, будет выглядеть на снимке как объект меньшего размера. При фотографировании возможны «мертвые зоны», которые скрывают часть объекта и не передают его все детали и соответственно пространственные отношения.

На рис.2 приведен пример

топологического соответствия и несоответствия.

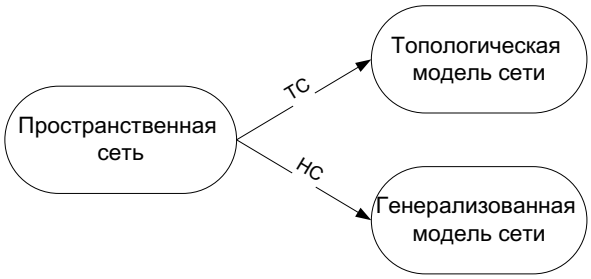

Рис.2. Топологическое соответствие и несоответствие.

При сохранении топологической инвариантности имеет место топологическое соответствие (ТС). При генерализации, которая влечет потерю топологических связей, имеет место топологическое несоответствие (НС). Это ярко проявляется при обработке цифровых изображений (рис.3). На рис.3 показаны информационные объемы моделей.

При сжатии изображения с сохранением топологии между исходным и трансформированным изображением сохраняется топопсемантическое информационное соответствие (ТС). Объем уменьшается, но топология сохраняется.

При расширении (экспандировании) изображения на вновь трансформированном увеличенном изображении появляются пустые места и разрывы. Разрывы могут приводить к нарушению или искажению топологии и морфологии. В этом случае имеет место информационное и семантическое несоответствие (НС).

Однако, потеря топологии и информации может восполнится включением топосемантического моделирования, то есть перенесением пространственной информации в семантику. Поэтому условие топопсемантического информационного соответствия является более сильным и может компенсировать потерю топологической информации.

Таким образом, проблема пространственной согласованности и топосемантической согласованности обусловлены многими факторами, в первую очередь концепцией и методом построения моделей пространственных объектов с нарушением пространственных отношений.

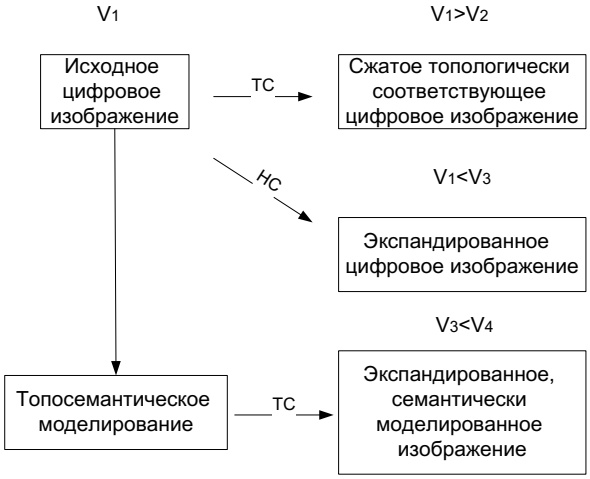

Рис.3. Топосемантическое соответствие и несоответствие при цифровом трансформировании изображений.

При цифровом моделировании особенно линейных объектов [15] эта проблема усугубляется тем, что главный принцип построения цифровых моделей – «по точечное моделирование». При «по точечном» сборе информации нарушается системный признак целостности восприятия и формирования моделей. Например, при сборе информации осуществляют «по точечный» ввод данных как для объекта, которому принадлежат точки, так и для отдельно стоящих точек, не принадлежащих объекту. Для того, чтобы связать точки объекта в единую совокупность вводят «семантику» и группируют точки по признаку принадлежности к тому или иному объекту.

Для решения проблемы топосемантической согласованности необходимо восстановить в модели

пространственные отношения [16], которые соответствуют пространственным отношениям на местности. Кроме того проблема топосемантической согласованности требует рассмотрения модели объекта не как изолированной сущности или закрытой системы, а рассмотрения модели объекта в информационной ситуации [17], включающей объект и его окружение. Эта модель описывает объект как открытую систему.

Решение проблемы топосемантической согласованности требует ввода семантики, семантического моделирования или информационного взаимодействия. Решение проблемы топосемантического информационного соотвествия требует также ввода метрической информации. Например, комнаты на поэтажном плане могут иметь одинаковые плановые координаты, но разные высотные. Введение высотной координаты исключает совпадение информации по плановым координатам.

Пространственные знания и пространственная согласованность

Пространственные знания требуют обязательного выполнения условия топосемантического информационного соответствия. Многие процессы протекают в реальном пространстве. Это реальное пространство описывается пространственной информацией и служит источником формирования геознаний [18, 19] и пространственных знаний [20]. Современный этап развития общества характеризуется широким накоплением и использованием пространственной информации. При обработке аэрокосмической информации возникает необходимость обработки фотоснимков, тепловых снимков, радиолокационных снимков высокого разрешения. Все это моделирование типа 3D →2D. Методы лазерного зондирования и пространственных геодезических измерений [21] также связаны с получением и обработкой пространственной информации. Исследование космического пространства, наблюдение Земли из космоса, глобальный мониторинг [22], решение проблемы астероидно - кометной опасности [23] также требует формирования и применения пространственного знания.

Проектирование дорог и сооружений, управление транспортом - требует применения пространственного знания. Геометрия и топология являются яркими представителями пространственных знаний. Анализ в пространстве параметров также связан с обработкой пространственной информации, хотя не в реальном, а в искусственном пространстве. Кластерный анализ может быть рассмотрен как механизм получения пространственных знаний в искусственном пространстве. Картография и навигация, глобальные навигационные спутниковые системы - все требует применения пространственной информации и созданного на ее основе пространственного знания.

Хотя работы в области пространственного знания ведутся за рубежом с 60-х годов прошлого столетия [24, 25], в России довольно долго в этом направлении активных исследований не проводилось. Следует также отметит узкую направленность работ за рубежом в области пространственного знания. они велись в основном в русле искусственного интеллекта. С появлением геоинформатики работы в области пространственного знания стали проводиться и сфере реального пространства. При этом началась интеграция методов геоинформатики и методов искусственного интеллекта в области представления пространственных знаний. Кроме того, эта проблема изучается в психологии,

когнитологии и в образовании. Все это делает актуальным обобщения опыта в области пространственных знаний и формирования новых понятий для его описания.

Согласованность пространственной информации является обязательным компонентом пространственного знания. Если пространственные данные не согласованы, они не могут образовать пространственное знание. В рамках теории искусственного интеллекта [26] для получения знаний принято использовать правила. Поэтому проверка топосемантической согласованности может быть осуществлена по набору правил, представленных ниже

Отсутствие принадлежности точки *P* к ареальному объекту *Ob* определяется правилом

$$P(X, Y) \cap Ob\ (X, Y) = \varnothing$$

Отношение принадлежности точки P к пространственному объекту Ob определяется правилом

$$\{P(X, Y, Z) \cap Ob\ (X, Y, Z) \neq \varnothing\} \rightarrow P \subseteq Ob$$

Следует отметить, что плановые координаты могут совпадать, например, в поэтажном плане здания. В этом случае координата Z играет роль разделителя совокупности точек. Точно также плановые координаты наземного и подземного сооружения могут совпадать и их различие определяется по координате Z.

По этому правилу можно определить совокупность точек (Pi), принадлежащих объекту

$$Pi \subseteq Ob;\ i=1...n$$

Точки могут принадлежать линии (линейный объект). Часто линия близка к плановому объекту или является плановым объектом. Отсутствие принадлежности точек P1 P2 к линии L определяется правилом

$$P1(X, Y) \cap L = \varnothing;\ P2(X, Y) \cap L = \varnothing$$

Отношение принадлежности точки P1 и точки P2 к линии L определяется по правилу

$$P1(X, Y) \cup P2\ (X, Y) \subseteq L12$$

Точка может принадлежать точечному объекту Po

$$\{P(X, Y) \cap Po\ (X, Y) \neq \varnothing\} \rightarrow P \equiv Po$$

В этом случае семантика объекта приписывается к данной точке. Набор перечисленных правил можно дополнять. Приведенные выше правила являются примером и основой для создания подобных правил проверки согласованности.

Использование правил из области искусственного интеллекта показывает, что топосемантическая согласованность является интеллектуальной характеристикой из области искусственного интеллекта.

Особенности пространственных моделей

Сформированные пространственные статические модели большей частью являются пространственно согласованными [27]. Однако в динамике и при их использовании их человеком могут возникать дополнительные эффекты, связанные с когнитивными аспектами моделирования.

По этому аспекту пространственные модели можно охарактеризовать как человеко анализируемые или человеко не анализируемые [28, 29]. В частности, это выражается в совокупности требований: обозримость, воспринимаемость, временная согласованность, ситуационность.

Обозримость – свойство пространственных моделей и

пространственных информационных ситуаций, состоящее в том, что человек в состоянии *обозреть* совокупность параметров и связей, входящих в модель коллекцию и *понять* ее как целое. Топосемантическая согласованность может иметь место для такой модели в принципе, но из-за большого объема, который превосходит пропускные способности человека [28, 29] эта согласованность может быть не видна явно и не воспринята человеком.

Воспринимаемость – свойство пространственных моделей и пространственных информационных ситуаций, состоящее в том, что человек в состоянии *воспринять и понять* данную информационную модель как отражение объективной реальности или ее практическое назначение. . Топосемантическая согласованность также может иметь место для такой модели, но из-за отсутствия воспринимаемости эта согласованность может быть не воспринята человеком

Временная согласованность – свойство пространственных моделей и пространственных информационных ситуаций, состоящее в том, что модель и ситуация соотвествуют актуальной ситуации за момент времени ее формирования и использования. Топосемантическая согласованность может иметь место для такой ситуации, но если условие временной согласованности нарушается, то и топосемантическая согласованность становится не актуальной. Следовательно, временная согласованность дополняет топосемантическую согласованность и является критерием ее актуальности.

Ситуационность – свойство пространственных моделей и пространственных информационных ситуаций, состоящее в том, что они моделируют не изолированный объект, а реальную ситуацию и даже динамику в этой ситуации.

Заключение

В настоящее время в пространственное моделирование и в пространственный анализ все более вовлечены в процессы, основанные на логическом рассуждении и принятии решений с учетом топосемантических особенностей объектов. Картография уже не является основной зоной пространственного моделирования. В пространственном моделировании все большее значение приобретают цифровые модели объектов, искусственный интеллект и когнитивные модели. Топосемантическое информационное соответствие является одним их видов пространственной согласованности и развитием информационного соответствия. Топосемантическое информационное соответствие позволяет преодолевать семантический разрыв при нарушении топологического несоответствия. Топосемантическая согласованность является обязательным условием добычи геоданных [30] и обновления пространственных баз данных [31]. Топосемантическая согласованность не реализуется средствами только топологии. Топосемантическая согласованность реализуется путем семантического моделирования, пространственного и когнитивного анализа. Топосемантическая согласованность важная характеристика, которая пока не учитывается во многих технологиях пространственного моделирования и анализа. Эта технология требует дальнейшего исследования и развития.

Литература

1. С.К. Дулин, И.Н. Розенберг, В.И. Уманский. Аспекты пространственной согласованности географической информационной системы. // Системы и средства информатики. – 2011. Вып. 21, № 2. – с.73-96.

2. Цветков В.Я. Информационное соответствие // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №1- 3. – с.454-455.
3. V.L. Lototsky. Spatial Information Modeling // European Journal of Computer Science, 2016, Vol.(2), Is. 1, pp. 38-46.
4. Розенберг И.Н., Дулин С.К. Об онтологическом статусе визуализируемых геоданных // «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2016): Пятая научно-техническая конференция с международным участием (17-18 ноября 2016 г., Москва, Россия) – М.: ОАО «НИИАС», 2016. - с.139-143.
5. 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.
6. Цветков В.Я. Создание интегрированной информационной основы ГИС// Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2000. - №4. - с.150-154.
7. Розенберг И. Н. Обработка пространственной информации // Перспективы науки и образования. - 2015. - №3. – с.17-24.
8. Tsvetkov V. Ya. Information Interaction as a Mechanism of Semantic Gap Elimination // European researcher. Series A. 2013. № 4-1 (45). - с. 782-786.
9. Бахарева Н.А. Пространственные отношения в экологических исследованиях // Перспективы науки и образования. - 2016. - №3. - с.16-19.
10. Чехарин Е. Е. Интерпретация космической информации при исследовании Земли // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №2 (10). – с.137-143.
11. Kainz W. Logical consistency//Elements of spatial data quality. Elsevier Science, 1995. P. 109-138.
12. Дулин С. К., Розенберг И. Н. Согласованное пополнение геоинформационного портала отрасли неструктурированными данными // Системы и средства информатики. – 2005. - Вып. 11, № 1. – с.194-218.
13. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике. — М.: Наука, 1987. — 423с.
14. Замышляев А.М. Эволюция цифрового моделирования // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.82-91.
15. Куприянов А.О. Цифровое моделирование при проектировании и мониторинге трасс // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.70-81.
16. Цветков В.Я. Пространственные отношения в геоинформатике// Науки о Земле. - 2012. - №1. - с.59-61.
17. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. Series A. 2012, Vol.(36), 12-1, p.2166- 2170.
18. Савиных В.П. Геознание. - М.: МАКС Пресс, 2016. - 132с.
19. Ожерельева Т.А. Геознания. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №5-4. – с.669-669.
20. Цветков В.Я. Пространственные знания// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. -2013. - №7. – с.43-47.
21. Господинов Г.С. Геодезическая астрономия и космическая геоинформатика // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.45-50.
22. Бармин И.В., Лящук Б.А., Савиных В.П., Цветков В.Я. Принципы глобального космического мониторинга // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. - 2013. - № 4. - с.30-36.
23. Ломакин И.В., Мартынов М.Б., Поль В.Г., Симонов А.В. Астероидная опасность, реальные проблемы и практические действия. // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. - 2009. - №1. - с53-62.
24. Benjamin Kuipers. Modeling Spatial Knowledge (1978) // Cognitive Science - №2. - p. 129-153.
25. Tverksy B. Levels and structure of spatial knowledge //Cognitive mapping: past, present and future. Routledge, London. – 2000.
1. 26 Шайтура С.В. Интеллектуальный

анализ геоданных // Перспективы науки и образования. - 2015. - №6. - с.24-30.
26. Дулин С.К., Розенберг И.Н. Об одном подходе к структурной согласованности геоданных // Мир транспорта. - 2005. - Т. 11. № 3. - с.16-29.
27. Rozenberg I.N. Information reception in information and cognitive systems // European Journal of Technology and Design, 2015, 4. Vol. 10, Is. 4, pp. 140-148., DOI: 10.13187/ejtd.2015.10.140 www.ejournal4.com.
28. Цветков В.Я. Когнитивные технологии // Информационные технологии. – 2017. – 2(23). –с.90-96.
29. Кудж. С.А. Добыча геоданных // Науки о Земле № 2-3, 2013 – с 82-84.
30. Матчин В.Т. Методы обновления банков и баз пространственных данных // Науки о Земле. – 2017. - № 1. - с.90-101.

References

1. S.K. Dulin, I.N. Rozenberg, V.I. Umanskiy. Aspekty prostranstvennoy soglasovannosti geograficheskoy informatsionnoy sistemy. // Sistemy i sredstva informatiki. – 2011. Vyp. 21, № 2. – s.73-96.
2. Tsvetkov V.Ya. Informatsionnoye sootvetstviye // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. - 2016. - №1- 3. – s.454-455.
3. V.L. Lototsky. Spatial Information Modeling // European Journal of Computer Science, 2016, Vol.(2), Is. 1, pp. 38-46.
4. Rozenberg I.N., Dulin S.K. On the ontological status of the visualized geodata // "Intelligent control systems in railway transport. Computer and Mathematical Modeling "(ISUZHT-2016): Fifth Scientific and Technical Conference with International Participation (November 17-18, 2016, Moscow, Russia) - M .: OJSC" NIIAS ", 2016. - p.139-143.
5. 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.
6. Tsvetkov V.Ya. Sozdaniye integrirovannoy informatsionnoy osnovy GIS// Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos"yemka. - 2000. - №4. - s.150-154.
7. Rozenberg I. N. Obrabotka prostranstvennoy informatsii // Perspektivy nauki i obrazovaniya. - 2015. - №3. – s.17-24.
8. Tsvetkov V. Ya. Information Interaction as a Mechanism of Semantic Gap Elimination // European researcher. Series A. 2013. № 4-1 (45). - c. 782-786.
9. Bakhareva N.A. Spatial relations in ecological research // Perspectives of science and education. - 2016. - № 3. - p.16-19.
10. Chekharin, E.E., Interpretation of Space Information in the Study of the Earth, // Educational Resources and Technologies. - 2015. - № 2 (10). - p.137-143.
11. Kainz W. Logical consistency//Elements of spatial data quality. Elsevier Science, 1995. P. 109-138.
12. Dulin S. K., Rozenberg I. N. Soglasovannoye popolneniye geoinformatsionnogo portala otrasli nestrukturirovannymi dannymi // Sistemy i sredstva informatiki. – 2005. - Vyp. 11, № 1. – s.194-218.
13. Sedov L. I. Metody podobiya i razmernosti v mekhanike. — M.: Nauka, 1987. — 423s.
14. Zamyshlyayev A.M. Evolyutsiya tsifrovogo modelirovaniya // Nauka i tekhnologii zheleznykh dorog. – 2017. – 1(1). – s.82-91.
15. Kupriyanov A.O. Tsifrovoye modelirovaniye pri proyektirovanii i monitoringe trass // Nauka i tekhnologii zheleznykh dorog. – 2017. – 1(1). – s.70-81.
16. Tsvetkov V.Ya. Prostranstvennyye otnosheniya v geoinformatike// Nauki o Zemle. - 2012. - №1. - s.59-61.
17. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. Series A. 2012, Vol.(36), 12-1, p.2166- 2170
18. Savinykh V.P. Geoznaniye. - M.: MAKS Press, 2016. - 132s.
19. Ozherel'yeva T.A. Geoznaniya. // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. - 2016. - №5-4. – s.669-669.
20. Tsvetkov V.Ya. Prostranstvennyye znaniya// Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. -2013. - №7. – s.43-47.
21. Gospodinov G.S. Geodezicheskaya astronomiya i kosmicheskaya geoinformatika // Nauka i tekhnologii zheleznykh dorog. – 2017. – 1(1). – s.45-50.

22. Barmin I.V., Lyashchuk B.A., Savinykh V.P., Tsvetkov V.YA. Printsipy global'nogo kosmicheskogo monitoringa // Polet. Obshcherossiyskiy nauchno-tekhnicheskiy zhurnal. - 2013. - № 4. - s.30-36.
23. Lomakin I.V., Martynov M.B., Pol' V.G., Simonov A.V. Asteroidnaya opasnost', real'nyye problemy i prakticheskiye deystviya. // Vestnik NPO im. S.A. Lavochkina. - 2009. - №1. - s53-62.
24. Benjamin Kuipers. Modeling Spatial Knowledge (1978) // Cognitive Science - №2. - p. 129-153.
25. Tverksy B. Levels and structure of spatial knowledge //Cognitive mapping: past, present and future. Routledge, London. – 2000.
26. Shaytura S.V. Intellektual'nyy analiz geodannykh // Perspektivy nauki i obrazovaniya. - 2015. - №6. - s.24-30.
27. Dulin S.K., Rozenberg I.N. Ob odnom podkhode k strukturnoy soglasovannosti geodannykh // Mir transporta. - 2005. - T. 11. № 3. - s.16-29
28. Rozenberg I.N. Information reception in information and cognitive systems // European Journal of Technology and Design, 2015, 4. Vol. 10, Is. 4, pp. 140-148., DOI: 10.13187/ejtd.2015.10.140 www.ejournal4.com.
29. Tsvetkov V.YA. Kognitivnyye tekhnologii // Informatsionnyye tekhnologii. – 2017. – 2(23). –s.90-96.
30. Kudzh. S.A. Dobycha geodannykh // Nauki o Zemle № 2-3, 2013 – s 82-84.
31. Matchin V.T. Metody obnovleniya bankov i baz prostranstvennykh dannykh // Nauki o Zemle. – 2017. - № 1. - s.90-101.

TOPOSEMANTIC INFORMATION CONSISTENCY IN SPATIAL MODELING

Igor Rozenberg

Doctor of Technical Sciences, Professor,
General director of the Research Institute of automated systems in railway transport JSC NIIAS

Address: 27, bldg 1 Nizhegorodskaya Str., 109029 Moscow, Russia
E-mail: ig.rozenb2012@yandex.ru

Abstract. *The article describes an important characteristic of spatial analysis of toposemantic information correspondence. The article integrates the notions of information consistency, semantic coherence and topological invariance into a new term - the toposemantic information correspondence. The article describes the types of information correspondences and coherence in spatial modeling. The article proves that modern spatial modeling based on point-by-point modeling loses semantics and loses toposemantic information correspondence. The article proves that it is necessary to proceed to spatial modeling based on the application of object models and information situations. The article shows that spatial inconsistency and information inconsistency arises under certain concepts of constructing models and some methods of spatial modeling. The article shows that topological inconsistency is a weaker condition in comparison with toposemantic information correspondence. The procedure for establishing toposemantic consistency helps to restore lost spatial relationships and the lost topology in the spatial model. The article suggests the rules for finding the relation of the toposemantic information correspondence to different types of objects: the areal object, the linear object, the point object. These rules are the basis for restoring toposemantic consistency. The article shows that toposemantic information correspondence is a cognitive and intellectual characteristic and helps to solve intellectual and cognitive tasks.*

Key words: *Spatial analysis, geoinformatics, spatial modeling, spatial consistency, toposemantic information compliance, information compliance, information situation.*

© Розенберг И.Н., 2017

УДК 528.44

ФИСКАЛЬНАЯ КАДАСТРОВАЯ ПОДСИСТЕМА

Буравцев А.В.

Заместитель директора, Институт информационный технологий и автоматизированного проектирования, Московский технологический университет (МИРЭА)

Адрес: 119454, Москва, Проспект Вернадского, 78.
E-mail: mister_j@mail.ru

Аннотация. *Статья раскрывает основные принципы формирования фискальной кадастровой подсистемы. Рассмотрена Федеральная информационная адресная система. Дается сравнение фискальной кадастровой системы и фискальной информационной системы. Проводится аналогия между связью кадастровой земельной системы с геоинформационной системой и связью кадастровой фискальной системы с информационной системой. Статья доказывает, что Федеральная информационная адресная система является многоаспектной системой. Федеральная информационная адресная система относится к сложным системам с позиции теории. Федеральная информационная адресная система относится к базам данных с позиций ее реализации. Федеральная информационная адресная система относится к системам управления с позиций теории управления. Федеральная информационная адресная система относится к распределенным сетевым системам с позиции ее применения. Статья раскрывает содержание классификатора адресно образующих элементов в базе данных. Статья описывает кодирование информации в Федеральной информационной адресной системе. Описан синтаксис кодирования информации. Статья описывает состав элементов классификатора адресно образующих элементов. Статья описывает иерархию адресных объектов и кодов, которые им соответствуют. Статья описывает иерархию статусов действий в Федеральной информационной адресной системе и коды, которые соответствуют этим действиям. Статья описывает файлы выгрузки в базе данных и для представления их на портале. Раскрыто содержание иерархическая структура основных разделов Федеральной информационной адресной системы. Статья раскрывает содержание архива сведений, удаленных из базы данных. Статья описывает механизм обновления и обмен информацией в Федеральной информационной адресной системе. Доказано, что в теоретическом плане Федеральная информационная адресная система является примером сложной технологической системы.*

Ключевые слова: *кадастр, фискальный кадастр, сложные системы, фискальные системы, информационные системы, сложные технологические системы, Федеральная информационная адресная система.*

Введение

Фискальные кадастровые системы [1, 2] являются разновидностью кадастровых систем. Кадастр представляет собой реестр, объектов налогообложения. В фискальных кадастровых системах объекты налогообложения классифицированы [3] и разбиты на группы. Перечень признаков групп заносится в специальные справочники. Для каждой группы установлена индивидуальная ставка налога. Таким образом, кадастр одной из своих основных функций имеет сбор налога с подлежащих налогообложению объектов. Системы, основной функцией которых является сбор налогов, называют фискальными системами. Соответственно кадастр делят на фискальный (только сбор налогов) и юридический (учет и ведение юридических прав) [4]. В связи с широким применением информационного подхода для реализации фискальных кадастровых систем (ФКС) применяют фискальные информационные системы (ФИС). Особенность ФКС в том, что она является многоцелевой и применяется не только для учета, но и для управления. В связи с этим ФКС можно рассматривать как проблемно ориентированную систему управления [5].

Создание любой информационной системы или любой системы управления требует обоснования структуры и верификации функция такой системы. Поэтому кроме системного анализа необходимо использовать структурный [6] и логический [7] анализ при проектировании ФКС на концептуальном и технологическом

уровне. С концептуальных позиций ФКС относится к сложным системам, к сложным организационно-техническим система и сложным организационно-технологическим системам. Это требует применения обоей теории систем и теории сложных систем. На примере ФКС можно подчеркнуть разницу между общей теорией систем [8-10] и теорией сложных систем [11, 12]. С технологической точки зрения ФКС представляет собой хранилище или банк пространственных данных. Поэтому при проектировании такой системы необходимо предусмотреть технологии ее обновления [13, 14]. С позиций государственного управления ФКС должна быть согласована с инфраструктурой пространственных данных. Важным аспектом формирования ФКС является организация данных. Эти данные должны быть интегрированными и логически согласованными [15]. Поэтому при организации данных необходимо применять семиотический подход [16] и интегрированную информационную основу [17]. ФКС должны осуществлять обмен информации с другими информационными системами. Это требует применения методов стандартизации [18] при их проектировании и реализации.

Материалы и методы

Основу исследования составили работы в области теории баз данных и портало строительства. При исследовании учитывался опыт создания распределенных информационных систем и фискальных информационных систем. Основными методами исследований являются системный и структурный анализ и теория сложных систем.

Результаты

Федеральная информационная адресная система как система поддержки ФКС

Рациональное ведение хозяйства, мониторинг, принятие важных практических решений, связанных с государственным управлением, приводит к необходимости создания фискальных информационных систем (ФИС), которые служат поддержкой технологий налогообложения [19]. Применение ФИС повышает эффективность управления экономикой, рационального ведения хозяйства и охраны окружающей среды. Современные ФИС создаются на основе инструментальных пакетов информационных систем и на основе информационных технологий.. Технологически эта система представляет собой специализированную ИС, ориентированную на выполнение функций ФИС.

Одной из основных фискальных государственных систем в России является федеральная информационная адресная система (ФИАС). Адресные сведения в ФИАС представлены в виде двух дополняющих совокупностей: классификатором и адресной информацией. Классификатор называют классификатором адресообразующих элементов (КЛАДЭ) [20]. Адресная информация включает сведения об элементах адреса, идентифицирующих адресуемые объекты - земельные участки и объекты капитального строительства (дома, владения, домовладения, корпуса, строения, сооружения), местоположения этих объектов относительно ориентиров на местности.

Классификатор адресообразующих элементов ФИАС.

Классификатор адресообразующих элементов основан на искусственной

классификации и представляет собой систематизированный перечень основных и дополнительных адресообразующих элементов, каждому элементу которого присвоен определенный код.

В классификаторе КЛАДЭ принята иерархическая система классификации и используется последовательный метод кодирования информации. Множество объектов административно-территориального деления, планировочные единицы территории, элементы улично-дорожной сети и т.п. подразделяется на группы адресообразующих элементов.

Объектами классификации в КЛАДЭ являются основные и дополнительные адресообразующие элементы. Основные адресообразующие элементы, включающие в себя наименования и типы:

- субъектов Российской Федерации;
- округов (административно-территориальных единиц с особым статусом на территории субъекта Российской Федерации);
- административных районов, муниципальных районов, городских округов, внутригородских территорий городов федерального значения Москвы и Санкт-Петербурга, городских, сельских поселений;
- городов, населенных пунктов городского типа областного, окружного или районного подчинения;
- сельских населенных пунктов;
- элементов планировочной структуры территории;
- элементов улично-дорожной сети территорий населенных пунктов;
- автомобильных и железных дорог.

Дополнительные адресообразующие элементы:

- наименования садово-огороднических товариществ;
- наименование строительно-гаражных кооперативов;
- промышленные зоны;
- прочие адресные элементы, являющиеся дополнительными адресообразующими элементами адреса.

Кодирование информации в ФИАС

Одной из важных задач любой информационной системы является разработка системы кодирования для хранимой информации. Система кодирования представляет собой формальную систему с правилами и информационным языком. При этом код составляется на основе классификации и классификатора.

Классификационный код адресного объекта отражает иерархию его подчиненности и выделяет его среди объектов данного уровня, подчиненных одному и тому же старшему объекту. Классификационный код любого адресного объекта (ККАО), начиная от регионов и заканчивая элементами улично-дорожной сети, планировочной структуры дополнительного адресного элемента, имеет следующий синтаксис в виде фасетной структуры:

ККАО =
= F1 СС А РРР ГГГ ВВВ ППП УУУУ ЭЭЭ ЦЦЦ, (1)

где СС – код субъекта Российской Федерации (региона); А – код округа в составе субъекта Российской Федерации (региона); РРР – код района; ГГГ – код города (код сельского поселения); ВВВ – код внутригородского района; ППП – код населенного пункта; УУУУ – код улицы, планировочной единицы территории); ЭЭЭЭ – код дополнительного адресообразующего элемента; ЦЦЦ – код подчиненного адресного объекта дополнительного адресообразующего элемента.

В выражении (1) каждому уровню классификации соответствует фасет

кода. Для объектов классификации верхних уровней фасеты кода объектов нижних уровней будут иметь нулевые значения. В случае подчинённости адресного объекта старшему объекту через несколько уровней иерархии фасеты кода объектов, соответствующих промежуточным уровням, должны быть нулевыми. Например, улица может быть привязана непосредственно к субъекту Российской Федерации (для городов Москва и Санкт-Петербург), при этом фасеты кода, соответствующие уровням округов, районов, городов и населенных пунктов, будут содержать нули.

Классификационные коды адресообразующих элементов (ККАЭ) отражают текущее административно-территориальное деление адресного пространства. Классификационные коды могут меняться при изменении административно-территориального деления.

С целью обеспечения постоянства кодов адресообразующих элементов в КЛАДЭ используются идентификационные коды. Существует два вида индентификационных кодов - идентификационный код записи и идентифицикационный код адресного объекта. Идентификационный код записи, используется как ключевое поле, для идентификации записей по изменениям вносимым по адресному объекту. Это классический прием при организации баз данных. По этому коду отслеживается вся история изменений по адресному объекту. Идентификационный код адресного объекта присваивается адресному объекту при его создании и впоследствии не меняется, за исключением операции дробления. В случае дробления из одного адресного объекта образуется несколько и у каждого объекта должен быть свой уникальный идентификационный код.

Для формирования идентификационных кодов используется технология GUID (Globally Unique Identifier) [21]- шестнадцатибайтовый (128-битный) глобальный уникальный идентификатор. Состав элементов КЛАДЭ следующий:

1. Глобальный уникальный идентификационный код адресного объекта.
2. Формализованное наименование адресного объекта содержит формализованное наименование адресного объекта
3. Классификационный код (Код региона, Код автономии, Код района, Код города, Код внутригородского района, Код населенного пункта, Код улицы, Код дополнительного адресообразующего элемента, Код подчиненного адресного объекта дополнительного адресообразующего элемента).
4. Официальное наименование адресного объекта содержит наименование и тип адресного объекта, введенное соответствующим нормативным документом органом исполнительной власти, решением, постановлением муниципального образования. Используется при формировании документов и почтовых отправлений.
5. Почтовый индекс отделения связи содержит почтовый индекс предприятия почтовой связи, обслуживающего данный адресный объект.
6. Код ИФНС ФЛ и Код ИФНС ЮЛ содержат коды инспекций ФНС России по ведомственному ФНС России классификатору Система обозначений налоговых органов (СОНО), обслуживающих соответственно физических и юридических лиц на территории, на которой расположен данный адресный объект.
7. Код территориального участка

ИФНС ФЛ и Код территориального участка ИФНС ЮЛ содержат коды территориальных участков (упраздненных инспекций, преобразованных в подразделения межрайонных инспекций: отделы, территориальные участки и т.п.) ИФНС России по ведомственному справочнику кодов обозначений налоговых органов для целей учета налогоплательщиков (СОУН), обслуживающих соответственно физических и юридических лиц на территории, на которой расположен данный адресный объект.

8. Код ОКАТО содержит код объекта административно-территориального деления по общероссийскому классификатору ОКАТО соответствующего уровня (от субъекта РФ до сельского населенного пункта и внутригородских районов или внутригородских округов). Длина кода – 11 разрядов (заполняются все 11 разрядов). Для адресных объектов, не включенных в классификатор ОКАТО, в этом поле указывается код ОКАТО либо старшего административно-территориального объекта, либо расположенного в непосредственной близости к адресуемому объекту административно-территориального объекта, включенного в ОКАТО.
9. Код ОКТМО содержит код муниципального образования по Общероссийскому классификатору территорий муниципальных образований, на территории которого расположен адресуемый объект. Длина кода 11 байт.
10. Дата внесения записи определяет дату и время внесения записи в БД.
11. Краткое наименование типа объекта содержит краткое наименование типа адресного объекта из файла SOCRBASE.DBF.
12. Уровень адресного объекта содержит номер уровня классификации адресных объектов. Перечень уровней адресных объектов и соответствующих им типов адресных объектов приведен на рис.1

Рис.1. Иерархия кодов и адресных объектов

13. Идентификатор объекта родительского объекта (региона, района, города, населенного пункта) используется для связи с вышестоящими адресными объектами.
14. Уникальный идентификатор записи.
15. Идентификатор записи связывания с предыдущей исторической записью используется для связи с предыдущим историческим наименованием адресного объекта.
16. Идентификатор записи связывания с последующей исторической записью используется для связи с последующим историческим наименованием адресного объекта.
17. Код адресного объекта одной строкой с признаком актуальности –

классификационный код адресного объекта по классификатору КЛАДР 4.0, включая признак актуальности записи.

18. Код адресного объекта одной строкой без признака актуальности – классификационный код адресного объекта по классификатору КЛАДР 4.0, исключая признак актуальности записи.
19. Статус актуальности адресного объекта – определяет, является ли эта запись по адресному объекту актуальной (самой последней) на текущую дату (0 – не актуальный, 1- актуальный).
20. Статус центра содержит значение признака (признак центра), которое определяет, является ли данный адресный объект центром административно - территориального образования: столицей республики, центром края, области, района и т.п. Длина – 1 разряд. Данный блок может содержать следующие значения:

    0 – объект не является центром административно-территориального образования;

    1 – объект является центром района;

    2 – объект является центром (столицей) региона;

    3 – объект является одновременно и центром района и центром региона.

21. Статус действия - определяет причину появления записи в БД. Он приведен на рис.2.
22. Статус актуальности КЛАДР 4.0 содержит значение признака актуальности адресного объекта из классификатора КЛАДР 4.0.
23. Дата начала записи определяет дату начала действия записи.
24. Дата окончания действия записи определяет дату окончания действия записи.

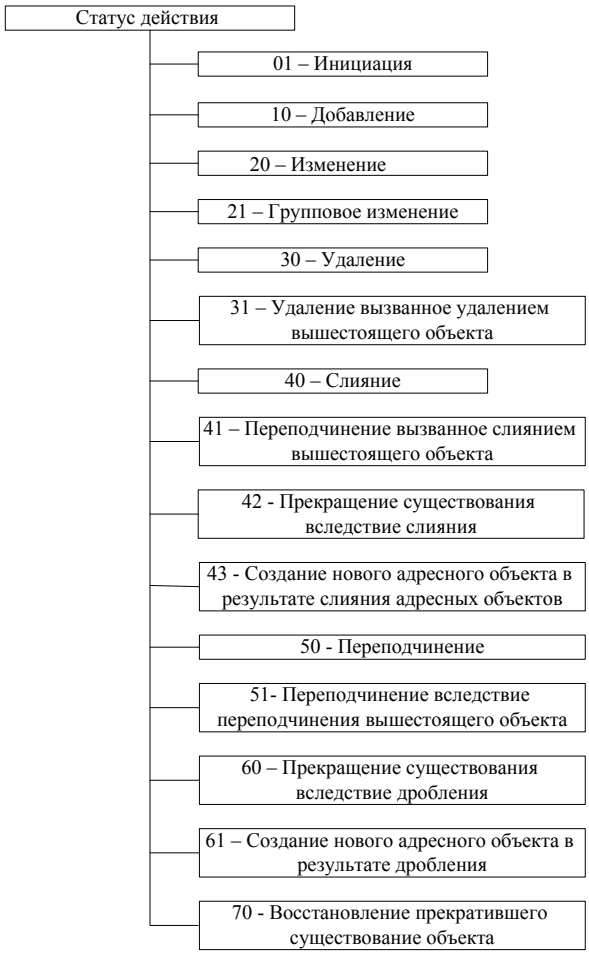

Рис.2. Коды и статусы действия в ФИАС

Описание файлов выгрузки ФИАС

ФИАС организована в виде базы данных, включающей совокупность таблиц. Кроме этого она имеет портальное представление. На портал ФИАС выгружаются актуальные и исторические сведения об объектах, а так же технологически удалённые из БД ФИАС адресные сведения. Актуальные и исторические сведения ФИАС выгружается в виде файлов (таблиц) DBF и файлов XML. Вместе с полной базой ФИАС выгружаются дельта данные – новые, изменившиеся и удаленные данные с момента предыдущей выгрузки базы. Логически выгрузка актуальных и исторических адресных сведений состоит из основных разделов (рис.3) и справочных сведений.

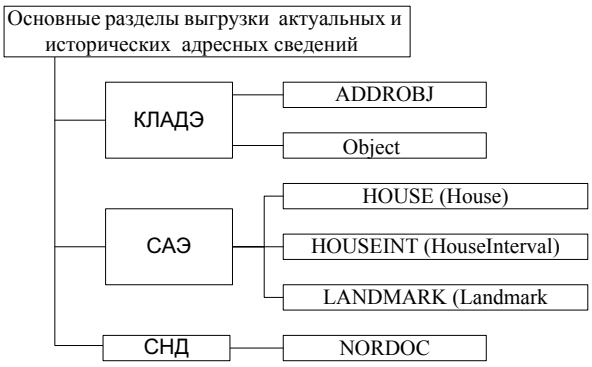

Рис.3. Иерархическая структура основных разделов ФИАС

Основные разделы включают: - классификатор адресообразующих элементов (КЛАДЭ); сведения об элементах адреса (СЭА), идентифицирующих адресуемые объекты; сведения по нормативному документу (СНД), являющемуся основанием присвоения адресному элементу наименования.

Таблица ADDROBJ содержит файлы формата DBF, таблица Object содержит файла выгрузки классификатора адресообразующих элементов базы данных ФИАС в формате XML.

Таблица HOUSE (House) – содержит записи с номерами домов улиц городов и населенных пунктов, номера земельных участков и т.п. При выгрузке сведений по домам в виде файлов DBF именам файлов присваиваются имена HOUSE00 – HOUSE99, где 00-99 код региона

Таблица HOUSEINT (HouseInterval) – содержит записи с интервалами домов улиц городов и населенных пунктов. Таблица LANDMARK (Landmark) - содержит описания мест расположения имущественных объектов, которые невозможно однозначно идентифицировать с использованием вышестоящих адресообразующих элементов.

Таблица NORDOC (NormativeDocument) содержит описания нормативных документов. При выгрузке сведений виде файлов DBF именам файлов присваиваются имена NORDOC00 – NORDOC99, где 00-99 код региона.

Справочные сведения включают совокупность таблиц базы данных: Таблица SOCRBASE (AddressObjectType) – содержит перечень полных, сокращённых наименований типов адресных элементов и уровней их классификации.

Таблица CURENTST (CurrentStatus) – содержит перечень статусов актуальности записи адресного элемента по классификатору КЛАДР4.0.

Таблица ACTSTAT (ActualStatus) – содержит перечень статусов актуальности записи адресного элемента по ФИАС.

Таблица OPERSTAT (OperationStatus) – содержит перечень кодов операций над адресными объектами.

Таблица CENTERST (CenterStatus) – содержит перечень возможных статусов (центров) адресных объектов административных единиц.

Таблица INTVSTAT (IntervalStatus) – содержит перечень возможных значений интервалов домов (обычный, четный, нечетный).

Таблица HSTSTAT (HouseStateStatus) – содержит перечень возможных состояний объектов недвижимости.

Таблица ESTSTAT (EstateStatus) – содержит перечень возможных видов владений.

Таблица STRSTAT (StructureStatus) – содержит перечень видов строений.

Архив сведений удаленных из базы данных

Особенностью ФИАС является наличие архива сведений удаленных из базы данных в силу их не актуальности или обновления. Технологически удалённые из БД ФИАС записи с адресными сведениями выгружаются в виде файлов (таблиц) DBF и файлов XML и включают удалённые администратором ФИАС по заявки

операторов ФИАС (ошибочно введённые, дубли адресных сведений) адресные сведения. В состав DBF таблиц технологически удалённых из БД ФИАС адресных сведений входят следующие таблицы:

DADDROBJ – удалённые записи по адресообразующим элементам;

DHOUSE – удалённые записи с номерами домов улиц городов и населенных пунктов, номера земельных участков и т.п.;

DHOUSINT – удалённые записи с интервалами номеров домов улиц городов и населенных пунктов;

DLANDMRK – удалённые записи описания мест расположения имущественных объектов;

DNORDOC - удалённые записи со сведениями по нормативным документам, являющимися основанием присвоения адресному элементу наименования

На стороне пользователя, после загрузки базы ФИАС в локальную базу данных, из нее по ключевым полям должны удаляться записи, присутствующие в таблицах технологически удаленных данных. Дельта данные, т.е. новые, изменившиеся и удаленные данные появившиеся с момента предыдущей выгрузки базы ФИАС, загружаются по следующему алгоритму: по наличию или отсутствию ключа в пользовательской базе определяется тип операции – добавление или обновление записи. После проведения соответствующих операций необходимо удалить по ключу записи, присутствующие в таблицах технологически удаленных данных.

Обмен информацией в ФИАС

ФИАС является динамически обновляемой базой данных. Обновление или обмен информацией является важной технологией любой фискальной информационной системы. В целях унификации и комплиментарности информационных ресурсов [22] синтаксис файлов обмена информацией в базе данных ФИАС имеет одинаковый вид

$$\boldsymbol{R_T_GGGGMMDD_N}. \qquad (2)$$

В этой формализации одинаковыми для всех фалов являются идентификаторы:

GGGG – год формирования файла выгрузки,

MM – месяц,

DD – день.

Индивидуальными являются ***N*** – идентификационный номер файла. Длина – от 1 до 36 знаков. Идентификационный номер файла обеспечивает уникальность имени файла.

R_T – префикс, принимающий значение для каждого файла согласно табл. 1.

В данной работе описаны принципиальные положения формирования проблемно ориентированной фискальной информационной системы как Федеральной информационной адресной системы.

ФИАС не решает полностью задачи фискального кадастра, но служит основой его ведения. Кроме того, такой подход позволяет выделить информационную часть системы, что дает основание рассматривать ФИАС как сложную технологическую систему. В отличие от сложных технических систем или сложных организационно-технических систем [23] сложная технологическая система имеет главную проблему сложности в комплексировании технологий и организации данных и представлении. При этом важной особенностью является портальное представление информации ФИАС, хранимое в ее базе данных.

Таблица 1.

Значения префиксов для фалов обмена ФИАС

Тип файла	**Значение** ***R_T***
Адресообразующие элементы	AS_ADDROBJ
Номера домов улиц городов и населенных пунктов, номера земельных участков и т.п	AS_HOUSE
С информацией по интервалам домов	AS_HOUSEINT
Описание мест расположения имущественных объектов	AS_LANDMARK
Информация по нормативным документам, являющимся основанием присвоения адресному элементу наименования	AS_NORMDOC
Типы адресных объектов	AS_SOCRBASE
Перечень статусов актуальности записи адресного элемента по классификатору КЛАДР4.0	AS_CURENTST
Перечень статусов актуальности записи адресного элемента по ФИАС	AS_ACTSTAT
Перечень кодов операций над адресными объектами	AS_OPERSTAT
Перечень возможных статусов (центров) адресных объектов административных единиц	AS_CENTERST
Перечень возможных значений интервалов домов в базе данных	AS_INTVSTAT
Перечень возможных состояний объектов недвижимости	AS_HSTSTAT
Перечень возможных видов владений	AS_ESTSTAT
Перечень возможных видов строений	AS_STRSTAT

Заключение

Федеральная информационная адресная система является сложной системой и имеет множественную реализацию. В теоретическом плане ФИАС является примером сложной технологической системы. В информационном аспекте ФИАС является информационной системой. Она реализована в виде сложной базы данных. В прикладном аспекте ФИАС является фискальной системой. В геоинформационном аспекте ФИАС является пространственной базой данных, базой геоданных и частью инфраструктуры пространственных данных [24]. Эта многоаспектность отражает сложность разработки и функционирования такой системы. Автор статьи является одним из основных разработчиков по модификации ФИАС и применил ряд подходов и аналогий при модификации этой системы.

Существует прямая аналогия, когда для реализации земельных кадастровых систем применяют геоинформационные системы. Для реализации фискальных кадастровых систем применяют фискальные информационные системы. В аспекте структуры ФКС относят к сложным системам, что приводит к необходимости применения системного анализа для формирования структуры и функциональных связей в такой системе.

Литература

1. Boadway R., Roberts S., Shah A. The reform of fiscal systems in developing and emerging market economies: a federalism perspective. – World Bank Publications, 1994.
2. Иванников А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Геоинформатика. - М.: МаксПресс, 2001. -349с.

3. Геодезия, картография, геоинформатика, кадастр. Энциклопедия. В 2 томах. / Под редакцией А.В. Бородко, В.П. Савиных. - Москва, 2008. Том I. А-М - 464с.
4. Козлова О. Ю. Методика и информационные технологии кадастрового учета ограничений и обременений земельных участков. Дис., к.т.н. специальность 25:00:26 – М.: МГУГиК, 2008. – 110с.
5. Цветков В.Я. Разработка проблемно ориентированных систем управления - М.: ГКНТ, ВНТИЦентр, 1991.- 131с.
6. Tsvetkov V.Ya. Informational Structural Modeling // European Journal of Technology and Design, 2017, 5(1): 37-42. DOI: 10.13187/ejtd.2017.1.37 www.ejournal4.com
7. Панов А. И. Выявление причинно-следственных связей в данных психологического тестирования логическими методами //Искусственный интеллект и принятие решений. – 2013. – №. 1. – С. 24-32.
8. Месарович М., Такахара Н. Общая теория систем: математические основы. - М.: Мир, 1978 -311 с
9. Берталанфи фон Л. Общая теория систем – критический обзор. / В кн. Исследования по общей теории систем. М.: Прогресс, 1969. С. 23 -82
10. Кудж С.А. Многоаспектность рассмотрения сложных систем // Перспективы науки и образования- 2014. - №1. – с38-43
11. Луман Н. Введение в системную теорию - Логос, 2007. 360 с. -
12. Hiroki Sayama. Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. - Open SUNY Textbooks, Milne Library. State University of New York at Geneseo, 2015.- 498p
13. Цветков В.Я., Железняков В.А. Интеллектуальное обновление данных в банке данных земель сельскохозяйственного назначения // Науки о Земле. - 2-2012.- с.73-79
14. Матчин В.Т. Методы обновления банков и баз пространственных данных // Науки о Земле. – 2017. - № 1. - с.90-101
15. Дулин С.К., Розенберг И.Н. Об одном подходе к структурной согласованности геоданных // Мир транспорта. - 2005. - Т. 11. № 3. - с.16-29.
16. Цветков В.Я. Семиотический подход к построению моделей данных в автоматизированных информационных системах // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2000. - №5. - с. 142-145.
17. Цветков В.Я. Информационная модель как основа обработки информации в ГИС // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. -2005. - №2. - с.118-122
18. Цветков В.Я. Стандартизация информационных программных средств и программных продуктов. - М.: МГУГиК, 2000 - 116с
19. Дадашев А. З. Налоги и налогообложение в Российской Федерации. – 2013.
20. Маставичене Т. В. Совершенствование технологии ведения адресного реестра для повышения эффективности информационной системы кадастра недвижимости. Дис., к.т.н. специальность 25:00:26 – М.: МГУГиК, 2016. – 138с.
21. https://ru.wikipedia.org/wiki/GUID Data view 20.04.2017.
22. Богутдинов Б.Б., Цветков В.Я. Применение модели

комплементарных ресурсов в инвестиционной деятельности // Вестник Мордовского университета. - 2014. - Т. 24. № 4. – с.103-116.
23. Корнаков А.Н. Модель сложной организационно-технической системы // Перспективы науки и образования. - 2015. - №2. – с.44-50.
24. Aalders H. J. G. L., Moellering H. Spatial data infrastructure //Proceedings of the 20th International Cartographic Conference, Volume 4, Beijing, August 6-10, 2001. – 2017.

References

1. Boadway R., Roberts S., Shah A. The reform of fiscal systems in developing and emerging market economies: a federalism perspective. – World Bank Publications, 1994.
2. Ivannikov A.D., Kulagin V.P., Tikhonov A.N., Tsvetkov V.YA. Geoinformatika. - M.: MaksPress, 2001. -349s.
3. Geodeziya, kartografiya, geoinformatika, kadastr. Entsiklopediya. V 2 tomakh. / Pod redaktsiyey A.V. Borodko, V.P. Savinykh. - Moskva, 2008. Tom I. A-M - 464s.
4. Kozlova O. YU. Metodika i informatsionnyye tekhnologii kadastrovogo ucheta ogranicheniy i obremeneniy zemel'nykh uchastkov. Dis., k.t.n. spetsial'nost' 25:00:26 – M.: MGUGiK, 2008. – 110s.
5. Tsvetkov V.YA. Razrabotka problemno oriyentirovannykh sistem upravleniya - M.: GKNT, VNTITsentr, 1991.- 131s.
6. Tsvetkov V.Ya. Informational Structural Modeling // European Journal of Technology and Design, 2017, 5(1): 37-42. DOI: 10.13187/ejtd.2017.1.37 www.ejournal4.com
1. 7 Panov A. I. Vyyavleniye prichinno-sledstvennykh svyazey v dannykh psikhologicheskogo testirovaniya logicheskimi metodami //Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy. – 2013. – №. 1. – S. 24-32.
7. Mesarovich M., Takakhara N. Obshchaya teoriya sistem: matematicheskiye osnovy. - M.: Mir, 1978 -311 s
8. Bertalanfi fon L. Obshchaya teoriya sistem – kriticheskiy obzor. / V kn. Issledovaniya po obshchey teorii sistem. M.: Progress, 1969. S. 23 -82
9. Kudzh S.A. Mnogoaspektnost' rassmotreniya slozhnykh sistem // Perspektivy nauki i obrazovaniya- 2014. - №1. – s38-43
10. Luman N. Vvedeniye v sistemnuyu teoriyu - Logos, 2007. 360 s.
11. Hiroki Sayama. Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. - Open SUNY Textbooks, Milne Library. State University of New York at Geneseo, 2015.- 498p
12. Tsvetkov V.YA., Zheleznyakov V.A. Intellektual'noye obnovleniye dannykh v banke dannykh zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya // Nauki o Zemle. - 2-2012.- s.73-79
13. Matchin V.T. Metody obnovleniya bankov i baz prostranstvennykh dannykh // Nauki o Zemle. – 2017. - № 1. - s.90-101
14. Dulin S.K., Rozenberg I.N. Ob odnom podkhode k strukturnoy soglasovannosti geodannykh // Mir transporta. - 2005. - T. 11. № 3. - s.16-29.
15. Tsvetkov V.YA. Semioticheskiy podkhod k postroyeniyu modeley dannykh v avtomatizirovannykh informatsionnykh sistemakh // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos"yemka. - 2000. - №5. - s. 142-145.
16. Tsvetkov V.YA. Informatsionnaya model' kak osnova obrabotki informatsii v GIS // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos"yemka. -2005. - №2. - s.118-122
17. Tsvetkov V.YA. Standartizatsiya

informatsionnykh programmnykh sredstv i programmnykh produktov. - M.: MGUGiK, 2000 - 116s
18. Dadashev A. Z. Nalogi i nalogooblozheniye v Rossiyskoy Federatsii. – 2013.
19. Mastavichene T. V. Sovershenstvovaniye tekhnologii vedeniya adresnogo reyestra dlya povysheniya effektivnosti informatsionnoy sistemy kadastra nedvizhimosti. Dis., k.t.n. spetsial'nost' 25:00:26 – M.: MGUGiK, 2016. – 138s.
20. https://ru.wikipedia.org/wiki/GUID Data view 20.04.2017.
21. Bogutdinov B.B., Tsvetkov V.YA. Primeneniye modeli komplementarnykh resursov v investitsionnoy deyatel'nosti // Vestnik Mordovskogo universiteta. - 2014. - T. 24. № 4. – s.103-116
22. Kornakov A.N. Model' slozhnoy organizatsionno-tekhnicheskoy sistemy // Perspektivy nauki i obrazovaniya. - 2015. - №2. – s.44-50..
23. Aalders H. J. G. L., Moellering H. Spatial data infrastructure //Proceedings of the 20th International Cartographic Conference, Volume 4, Beijing, August 6-10, 2001. – 2017.

FISCAL CADASTRAL SUBSYSTEM

Alexey Buravtsev

Deputy Director, the Institute of Information Technologies and Computer-Aided Design,
Moscow Technological University (MIREA)

Адрес:, 78, Vernadsky Prospekt, 119454, Moscow, Russia
E-mail: mister_j@mail.ru

Abstract. *The article reveals the basic principles of the formation of a fiscal cadastral subsystem. The article is investigated by the Federal Information Address System. The paper gives a comparison of the fiscal cadastral system and the fiscal information system. The article draws an analogy between the connection of the cadastral land system with the geoinformation system and the cadastral fiscal system link to the information system. The article proves that the Federal Information Address System is a multidimensional system. The federal information address system refers to complex systems from the position of theory. The Federal Information Address System refers to databases from the perspective of its implementation. The federal information address system refers to management systems from the viewpoint of management theory. The federal information address system refers to distributed network systems from the point of view of its application. The article discloses the content of the classifier of address-forming elements in the database. The article describes the coding of information in the Federal Information Address System. The article describes the syntax of encoding information. The article describes the composition of the elements of the classifier of address-forming elements. The article describes the hierarchy of address objects and codes that correspond to them. The article describes the hierarchy of activity statuses in the Federal Information Address System and the codes that correspond to these actions. The article describes upload files in the database and for presentation on the portal. The contents of the hierarchical structure of the main sections of the Federal Information Address System are disclosed. The article discloses the contents of the archive of information deleted from the database. The article describes the mechanism for updating and exchanging information in the Federal Information Address System. The article proves that, theoretically, the Federal Information Address System is an example of a complex technological system.*

Key words: *Cadastre, fiscal cadastre, complex systems, fiscal systems, information systems, complex technological systems, Federal Information Address System.*

© Буравцев А.В., 2017