



УДК (550.84.012:004.9):553.411

№ 3 с. Ч. 2 ♦ 2014

## МЕТОДИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ГИС ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ

А. В. Паршин, А. М. Спиридонов

Анализируются современные требования к геолого-геохимическим ГИС. Рассматривается «классический» процесс обработки данных с помощью пользовательских ГИС-пакетов, отмечаются его недостатки применительно к решению геохимических задач. Приводятся принципы «серверного» геоинформационного подхода к обеспечению комплексных геологических исследований. Описывается техническое решение ГИС «Кодар».

**Ключевые слова:** ГИС, геоинформационное картографирование, пространственные базы данных, поиски МПИ, золоторудные месторождения.

## METHODICAL AND ENGINEERING SOLUTIONS OF GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL GIS FOR INTEGRATED SCIENTIFIC STUDIES OF GOLD-ORE OBJECTS

A. V. Parshin, A. M. Spiridonov

The article analyzes up-to-date requirements for geological and geochemical GIS. A classic data processing by means of user GIS packages is considered, its shortcomings as applied to the solution of geochemical problems are discussed. Principles of server-based geoinformation approach to integrated geological studies are given. The technical solution of the Kodar GIS is described.

**Keywords:** GIS, geoinformation mapping, spatial database, mineral exploration, gold-ore deposit.

Изучение и поиски месторождений и проявлений рудных полезных ископаемых осуществляются на основе комплексирования различных методов геологических исследований. Фактором, который лежит в основе анализа получаемых данных, является единство географического пространства. В настоящее время требуется обязательная организация ГИС-систем, обеспечивающих решение следующих видов задач: хранение разнородной геоинформации; ее комплексная обработка и анализ; формирование информативных и достоверных представлений данных; организация многопользовательского доступа и с представлением данных через Интранет/Интернет. Последние задачи всё более важны для научно-исследовательской работы, поскольку научные группы обычно не имеют возможности собственными силами выполнять комплексные междисциплинарные исследования. В этом случае ГИС играет важную роль интегрирующей среды для представления данных разной природы в уже классифицированном виде, понятном для интерпретации. К дополнительным требованиям относится легкость внедрения геотехнологий в научный или производственный процесс, поскольку многие специалисты-геологи не имеют большого опыта работы с современными информационными технологиями, и, кроме того, инициативный характер научных исследований обычно

не предполагает значительных затрат на ГИС-программы.

В данной работе представлены некоторые методические и технические решения, отвечающие обозначенным функциям современных ГИС и позволяющие существенно автоматизировать процессы геообработки по сравнению с «классическим» геоинформационным подходом. Эффективность описываемых геотехнологий доказана в процессе обеспечения как фундаментальных, так и прикладных научных исследований, выполненных лабораторией геохимии рудообразования ИГХ СО РАН на ряде золоторудных и золотоуранных объектов Восточной Сибири.

Необходимо конкретизировать положения геоинформационного подхода, который предлагается считать «классическим»:

- 1) однопользовательские ГИС-проекты (данные хранятся в файловой системе в виде растров или векторных слоев (shp, tab и др.);
- 2) сборку и оформление проекта, обработку данных выполняет пользователь, используя при этом инструменты настольной ГИС-среды;
- 3) программное обеспечение является проприетарным, при этом довольно дорогостоящим;
- 4) в интерфейсе карты и данные представлены в виде слоев одного признака, часто используются легенды «от минимума до максимума признака»;
- 5) отсутствует интеграция с Интранет/Интернет сервисами.

ИГХ СО РАН (Иркутск)



Эти положения отвечают современному уровню отечественной геоинформатики [4], хотя по мировым стандартам данный этап был характерен для ГИС-технологий конца XX в. [6] и действительно является классическим.

Возникает вопрос, в какой мере «классический» подход отвечает требованиям к современному ГИС-обеспечению геологических наук. По мнению авторов, геолого-геохимические информационные системы характеризуются особенностями, отличающими их других видов ГИС, причем эти отличия снижают применимость стандартных настольных пакетов (ESRI ArcGIS или MapInfo).

В «классическом» геоинформационном подходе ГИС-проект состоит из слоев, отражающих содержимое столбцов базы данных. Основной вид геохимической информации – так называемые монополя, представляющие собой графические изображения полей распределения концентраций отдельных химических элементов либо некоторых их соединений. «Монополя» позволяют визуально анализировать их пространственно-временные изменения при режимных наблюдениях, однако они удобны только при исследовании небольшого количества атрибутов. Современные аналитические методы позволяют получать информацию о нескольких десятках химических параметров, при этом в геофизике или режимных геоэкологических наблюдениях это лишь первые единицы. Большое число слоев «монопольей» на одной карте требует значительных временных затрат и в целом затрудняет решение таких задач, как поиск ассоциаций элементов и выделение

перспективных участков территории, поскольку слои обычно не прозрачны. Кроме того, пользователь должен оформить в научно обоснованном виде каждый из этих слоев с учетом регионального геохимического фона и критериев выделения аномалий. Переход к многомерным полям требует квалифицированных действий в интерфейсе информационной системы. Это означает, что пользователь «классической» ГИС должен как обладать геолого-геохимической квалификацией, так и хорошо разбираться в ГИС-технологиях.

Авторы считают, что по ряду и этих, и экономических, а в последнее время и внешнеполитических причин разумный вариант – развитие собственных геоинформационных технологий, при этом перспективным для геологических наук направлением является интеграция в ГИС некоторых элементов интеллектуальных систем и систем поддержки принятия решений. Оптимальным базисом, на основе которого возможно быстрое создание тематических геоинформационных систем, представляются открытые ГИС, распространяемые по лицензиям GNU/GPL, и стандарты Open Geospatial Consortium (OGC). На современном этапе развития открытых ГИС они позволяют решать задачи любой сложности не хуже, чем проприетарные пакеты [1]

Как уже было показано, одним из центральных вопросов, возникающих при создании геохимических ГИС, является проблема организации компактных и научно обоснованных карт. Для этого необходимо сократить количество слоев проекта, не потеряв при этом полноты инфор-

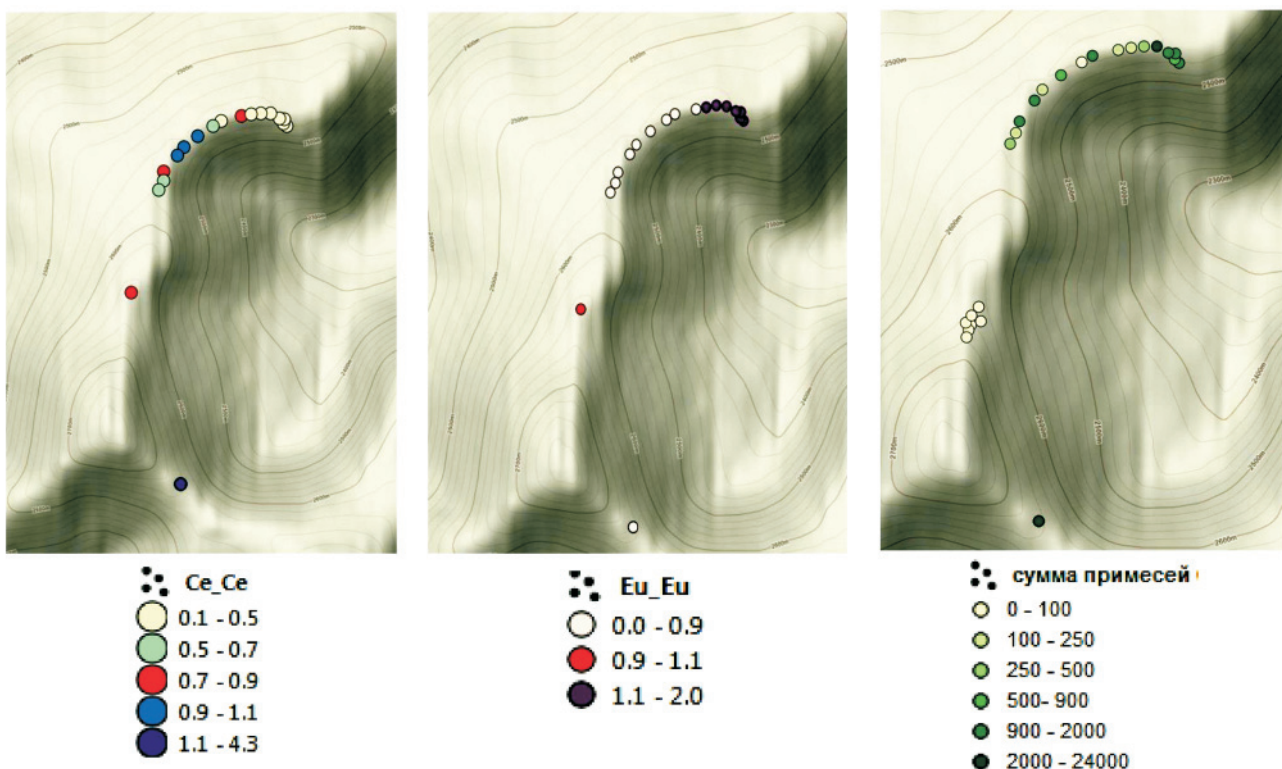


Рис. 1. Пример расчета и представления четырех «модулей» (ГИС «Суперкварцита»)



Таблица 1

Фрагмент таблицы с результатами расчета робастных ГК (Апрелковская рудно-магматическая система).  
Золото не входит ни в один из первых десяти ГК

Признак	Собственные векторы (нагрузки на соответствующие стандартизованные признаки), соответствующие собственным значениям									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Au	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ag	0,83	0,03	-0,44	0,05	0,85	-0,25	1,36	0,05	-21,35	-2,06
Al	0,60	6,97	20,04	0,56	0,85	29,58	-0,53	-0,23	0,10	-0,57
As	-0,01	-0,03	-0,01	-0,02	-0,03	0,28	-0,24	0,33	-0,04	8,43
Ba	-0,05	-1,12	10,57	-26,44	-0,22	-6,93	-5,92	0,29	-0,02	-1,61
Be	-3,11	-6,47	8,13	12,82	0,49	0,42	-2,08	-4,65	-12,31	2,74
Bi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	5,66	2,01	0,10	0,00	4,91	-3,41	1,01	4,69	-20,68	0,03
Cd	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00
Co	9,33	-2,93	-0,06	0,00	0,09	1,24	-0,03	-0,25	0,85	-1,01

мации. Целесообразно решать эту задачу путем разработки специализированного программного обеспечения, выполняющего расчет комплексных индикаторов геохимических процессов. Для геолого-геохимических работ авторам представляются наиболее простыми и эффективными два метода.

*Первый* метод основан на расчете из данных химического анализа проб и последующем картировании тематически ориентированных аддитивных и мультипликативных показателей – «модулей» [2, 5], к которым часто прибегают эксперты-геохимики при анализе данных в табличном виде или в виде диаграмм. Значения каждого из выбранных для конкретных условий показателей должны характеризовать геологический процесс или явление и позволять оценить перспективность участка территории (рис. 1), а набор показателей должен быть минимальным и достаточным для решения конкретной геологической задачи.

Авторам удавалось реализовать системы поддержки принятия решений, позволяющие решать некоторые геологические задачи на основе 6–8 модулей [2].

*Второй* вариант снижения размерности данных – применение картографического варианта факторного анализа. Одним из наиболее применимых методов, исходя из опыта авторов, является робастный метод главных компонент (ГК). В регионах со сложной геохимической обстановкой первый расчет ГК не позволяет выделить геохимические ассоциации. Золото часто выделяется отдельно в одну из последних компонент (табл. 1), как это произошло при проведении работ на территории Апрелковской рудно-магматической системы (Забайкальский край), где в пределах небольшой площади встречаются рудные объекты различного генезиса.

Это не означает, что метод ГК не может быть использован на данной территории. Напротив, картографическое представление результатов вычислений в таком случае явно указывает на необходимость разделения территории на несколь-

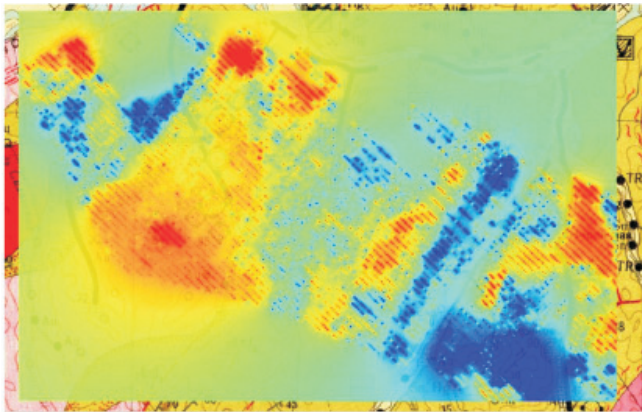
ко отдельных зон расчета (рис. 2) [3]. Тот факт, что золото выделяется обособленно, указывает на различие поисковых критериев в разных зонах.

Каждая последующая итерация расчетов обеспечивает более четкое понимание границ минерализованных зон и позволяет ранжировать аномальные участки по степени приоритетности. В рассматриваемом примере третья серия вычислений и картирования позволила выделить три металлогенические ассоциации, указывающие на разные типы золоторудных месторождений и механизмов их формирования (табл. 2, рис. 3).

Использование метода ГК при создании тематико-картографического обеспечения для ГИС позволяет повысить оперативность решения таких типов задач, как поиск объектов заданного генезиса, обнаружение и типизация золоторудных объектов в условиях неопределенности, исследование природы формирования известных месторождений и рудопроявлений.

Следующей задачей после формирования небольшой совокупности высокоинформативных слоев является их классификация, обеспечивающая явное визуальное ранжирование геологической среды и выделение интересующих исследователя особенностей. Особое значение при картографировании геохимических параметров имеет правильность выбора классов атрибутов – «легенд» ГИС, которые не могут быть универсальны, поскольку увязаны с региональным фоном. Вторым вариантом интересен тем, что картографическое представление нагрузок на оси признаков формируется на основе относительных легенд, однако его сложно реализовать, так как необходимы проработка процесса взаимодействия пользователя с ГИС и разработка интерфейса. С другой стороны, первый метод требует разработки экспертами нескольких стилей для каждого модуля, применимых при исследовании территорий на различные виды сырья и универсальных в различных геологических обстановках.

В отличие от файл-серверной организации данных в классическом подходе для организа-

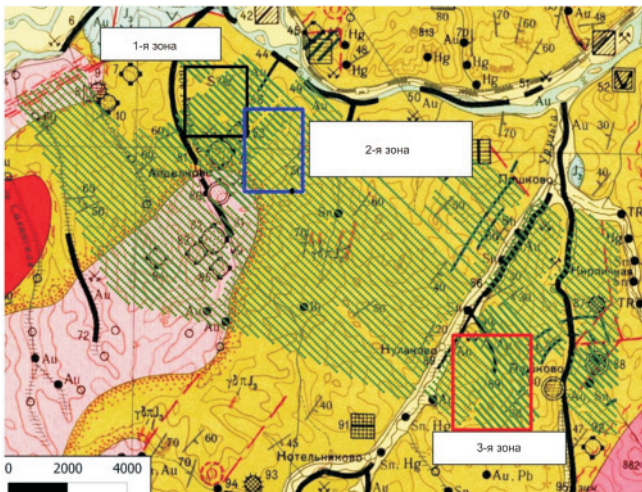


**Рис. 2.** Пространственное представление робастного главного компонента № 1 на территории Апрельковской РМС

ции автоматизирующих функций в ГИС необходимо реализовать «серверную» инфраструктуру пространственных данных (ИПД). В этом случае предобработку данных, в том числе предложенными методами, и оформление полученных слоев специалистами в конкретной области можно реализовать централизованно.

На рис. 4 представлена принципиальная схема ИПД, построенная на основе стандартов OGC, в данном примере включающая две совместно работающие организации. Отличительная особенность предлагаемой архитектуры от классических систем – отказ от уровня прикладного ПО, на котором отдельные специалисты с помощью клиентских настольных ГИС-пакетов должны производить обработку данных. Вместо этого на уровне СУБД функционирует задачно ориентированный набор программных средств, осуществляющих предобработку всей поступающей геоинформации.

На уровень баз данных отдельные специалисты вносят тематическую информацию. На уровне СУБД с помощью математико-картографического обеспечения рассчитываются пространственно скоординированные таблицы геохимических полей, геофизических карт



**Рис. 3.** Участки в пределах Апрельковского РУ, перспективные на золотое оруденение

**Таблица 2**

Геохимические ассоциации с золотом (Апрельковская РМС)

Ассоциация	Химические элементы
1 зона	Mo-Cu-Au(+As)
2 зона	As-Sb-Au
3 зона	W-Cu-Au(+As)

с внесенными поправками, результаты факторного анализа и т.п. в виде, уже пригодном для картирования. Настройка визуальных представлений, включающая классификацию данных, интерполяцию и т.д., осуществляется администраторами (либо ГИС-специалистами) на уровне картографических серверов. Выходными данными с уровня являются WMS-слои (географически привязанные изображения, генерируемые картографическим сервером на основе векторной или растровой информации из БД). Визуально-аналитическим интерфейсом может быть не только ГИС, но и веб-обозреватель, а специализированное клиентское программное обеспечение или настройка вида отображения данных пользователем не требуется. Все изначально разнородные данные представлены в WMS-виде, и их сборка в тематические проекты может производиться с помощью среды ГИС либо геопортала, который может находиться и за пределами интрасети отдельного института, при этом обеспечивая одновременное согласованное представление данных специалистам географически удаленных институтов в инситном интерактивном режиме. Возможности веб-интерфейса геопортала обеспечивают информационную безопасность данных, подключение и отключение слоев, масштабирование и т.д., т.е. его возможности аналогичны ГИС-вьюверам. Возможность случайного редактирования информации исключена свойствами стандарта WMS.

В качестве СУБД используется PostgreSQL/PostGIS. Программные средства математического анализа и автоматизированного внесения поправок реализованы на языке python и PL/pgSQL. Используются картографические серверы Geoserver и среда геопортала Geonode. Все ПО бесплатны, в связи с чем описанный подход к обеспечению геолого-геофизических исследований может быть применим для построения ИПД в любых научных организациях, позволяя оптимизировать и ускорить коллективную работу над разнородной геоинформацией.

Разработанное ГИС-обеспечение и структуры данных дают возможность ускорить и автоматизировать обработку результатов исследований, наилучшим образом обеспечить визуализацию и сопоставление результатов разнородных анализов, согласовать работу специалистов различного профиля, работающих удаленно друг от друга.

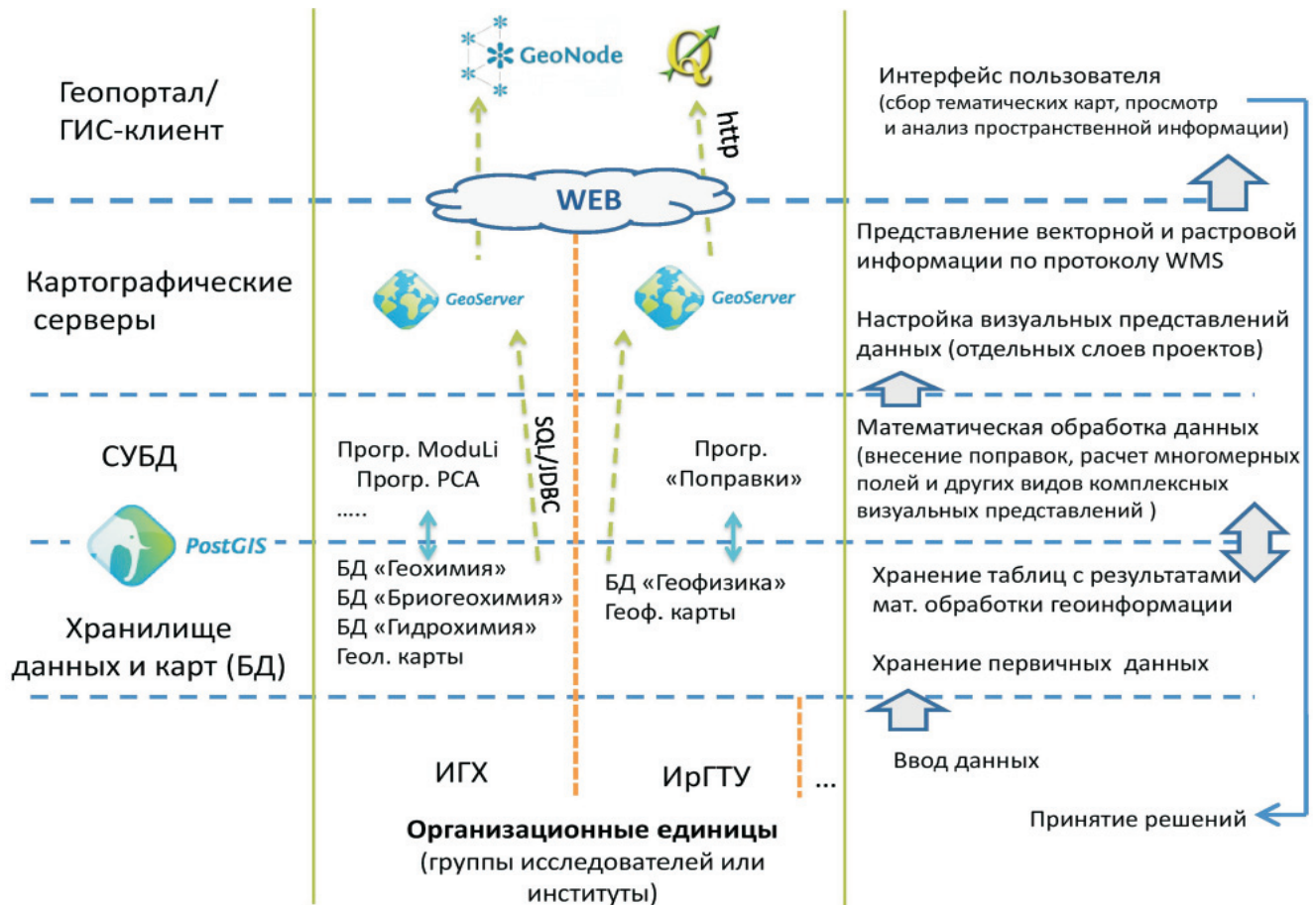


Рис. 4. Архитектура распределенной инфраструктуры пространственных данных для обеспечения геолого-геофизических исследований

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта № 02.G25 31.0075 в рамках постановления РФ № 218 от 09.04.2010.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГИС как судовая электронно-картографическая система [Текст] / А. В. Паршин, В. А. Мельников, О. И. Демина, Е. А. Руш // Вестн. ИргТУ. – 2012. – Т. 60, № 1. – С. 40–46.
2. Демина, О. И. Геоинформационное обеспечение геолого-геохимических исследований и поисков месторождений сверхчистого кварцевого сырья на территории Восточного Саяна [Текст] / О. И. Демина, А. В. Паршин, А. М. Федоров // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10(8). – С. 1778–1782.
3. Кучинская, В. П. Математико-картографическое обеспечение поисков и типизации золото-

рудных объектов Апрельковской рудно-магматической системы [Текст] / В. П. Кучинская, А. В. Паршин // Матер. конф. молодых ученых «Современные проблемы геохимии». – Иркутск : Ин-т географии СО РАН, 2013. – С. 151–153.

4. Шостаков, Е. В. Использование ГИС при производстве геологической съемки, поисках и разведке месторождений полезных ископаемых [Электронный ресурс] / Е. В. Шостаков, И. А. Федорова // Точка доступа: <http://kai.com.ua/kompanija/publikacii/gis-tehnologii/ispolzovanie-gis>.

5. Юдович, Я. Э. Основы литохимии [Текст] / Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис. – СПб. : Наука, 2000. – 479 с.

6. Goodchild, M. F. Challenges in geographical information science [Text] / M. F. Goodchild // Proceedings of the Royal Society. – 2011. – Vol. 467, N 2133. – P. 2431–2443.