

База данных россыпей России: достигнутые результаты и перспективы развития

Бочнева А.А. , Лаломов А.В.

ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, bochneva@mail.ru; lalomov@mail.ru

Аннотация. В настоящей статье рассматриваются перспективы развития геоинформационной системы (ГИС) по россыпным месторождениям России ввиду актуальности проблемы комплексной оценки и анализа россыпных территорий. В качестве исходных данных предполагается использование ранее созданной базы геологических объектов различного сырьевого типа – «Россыпные месторождения России» (БД-РМР). Учитывается опыт предыдущих исследователей и предлагается более широкий спектр использования такой базы данных в виде аналитической геоинформационной системы, а также новые подходы по формированию ее структуры, наполнению и анализу данных. Расширены цели и задачи для реализации всестороннего анализа россыпных объектов и площадей, предложены новые методы исследования как числовых, так и графических данных. Рассмотрено практическое применение геоинформационной системы россыпных месторождений России.

Ключевые слова: ГИС, россыпные месторождения, база данных.

Placer database of Russia: achieved results and development prospects

Bochneva A.A. , Lalomov A.V.

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of Russian Academy of Science (IGEM RAS), Moscow, bochneva@mail.ru; lalomov@mail.ru

Abstract. This article discusses the prospects for the development of a GIS for placer deposits in Russia due to the urgency of the problem of complex assessment and analysis of placer territories. As initial data, it is assumed to use a previously created database of geological objects of various raw materials – “Placer deposits of Russia” (DB-PDR). The experience of previous researchers is taken into account and a wider range of use of such a database in the form of an analytical GIS is proposed, as well as new approaches to the formation of its structure, content and data analysis. The goals and objectives for the implementation of a comprehensive analysis of placer objects and areas have been expanded, new methods for the study of both numerical and graphical data have been proposed. The practical application of the GIS of placer deposits in Russia is considered.

Keywords: placers deposits, GIS, data base.

Введение

Актуальность как создания, так и анализа баз данных и геоинформационных систем определяется тем, что полнота и цельность информации о минерально-сырьевой базе играет важнейшую роль в темпах промышленного развития России, поскольку информационные ресурсы являются одним из главных достояний любой страны. Получение нового научного знания также представляет собой один из аспектов научно-технического развития, который решается с помощью анализа информации и моделирования рудоконтролирующих параметров на основе ГИС (Мурашов и др., 2019).

Проблемы комплексности, разнородности и поликомпонентности данных, используемых, в частности, в геологии, стоит достаточно давно. Каждая область геологии (минералогия, петрография, геология рудных месторождений и т. д.) представлена огромным количеством разнородного материала по изучаемым тематикам. Существует большое количество баз данных (или, более часто, банков текстовой и графической информации) во всех разделах геологии. Существуют базы данных и ГИС по геологическим объектам одного сырьевого типа (например, «База экзогенной золотоносности и платиноносности России» ЦНИГРИ) или по определенным территориям (ГИС Северо-Востока России) или комбинированные (ГИС по россыпным месторождениям золота

Центрально-Колымского региона (Ворошин и др., 2006)), а также специализированные ГИС горно-добывающих предприятий (Яноковская, 2022).

Россыпные месторождения различных видов минерального сырья, образующих в совокупности россыпные зоны, районы и провинции, изучаются и систематизируются исследователями достаточно давно. При этом интерес к россыпям со стороны производителей в последние годы сохраняется на высоком уровне, поскольку россыпные месторождения являются источником получения высококачественного минерального сырья при сравнительно невысоком уровне затрат.

Основным подходом к изучению россыпей, их пространственного размещения, геолого-экономической оценки, перспектив освоения ранее являлся узкий специализированный («пометалльный») подход, который отвечал задачам оценки запасов и ресурсов определенного вида минерального сырья, но при котором не учитывалось (или учитывалось весьма второстепенно) возможное совмещение разнотипной россыпной минерализации в пределах россыпеносных площадей различного ранга и ценность попутных компонентов, содержащихся в россыпях (Бардеева и др., 2004). При этом большая часть россыпных провинций на территории России представляет собой полиминеральные системы с преобладанием одного или нескольких полезных компонентов в россыпях. Это определяет важность и необходимость сопряженного анализа россыпных объектов и площадей с разным минерагеническим профилем. Существует ряд факторов, определяющих комплексный состав россыпей и сложный минерагенический профиль россыпных районов, которые нужно учитывать при создании ГИС россыпных месторождений (Бардеева и др., 2004):

- 1) комплексный состав самих россыпеобразующих минералов (многие редкометалльные и титан-редкоземельные минералы, минералы МПГ);
- 2) полиминеральный состав руд коренного источника (оловянно-вольфрамовые, редкометалльные и другие россыпи);
- 3) пространственное наложение разнотипной и разновозрастной минерализации (оловянно-киноварно-золотоносные, золото-жадеитовые россыпи, комплексные россыпи ювелирных камней);
- 4) присутствие разновозрастных и разнотипных промежуточных коллекторов;
- 5) сходство миграционной способности минералов (большинство комплексных прибрежно-морских россыпей тяжелых минералов).

Все эти основные моменты были учтены в 2003 г. при создании коллективом авторов (Бардеева Е.Г., Патык-Кара Н.Г., Веселовский А.В., Маханова Т.М., ИГЕМ РАН) базы данных по россыпным месторождениям России (Бардеева и др., 2004). Целью ее создания послужил сопряженный пространственно-эволюционный анализ россыпных объектов разного типа и ранга на территории России, их связи с основными типами структур земной коры, геологическими структурами и морфоструктурами земной поверхности, сравнительная оценка совокупного потенциала россыпных месторождений в пределах экономических и административных районов. ГИС по россыпным месторождениям России включала в себя более 3000 объектов, из которых большая часть относится к золотым россыпям (табл. 1). Большое количество золотоносных объектов связано, преимущественно, с формальными факторами, поскольку запасы многих, особенно крупных золотоносных россыпей (таких как россыпь р. Берелех и др.) утверждались по отдельным блокам и участкам, что безусловно искажает реальную картину распределения россыпной металлоносности.

База данных по россыпным месторождениям России учитывала данные БД ГлавНИВЦ, ЦНИ-ГРИ и других организаций и находилась в состоянии непостоянного пополнения и корректировки (рис. 1). Как поликомпонентная информационная система, она позволяла анализировать пространственное размещение россыпных объектов разного типа и ранга, связь россыпей с геологическими и тектоническими структурами, определение потенциала россыпей в пределах экономических и административных районов.

Также надо добавить, что БД-РМР создавалась на базе программы Access, которая в начале 2000-х гг. была популярна и вполне справлялась с поставленными задачами. В настоящее время программа в какой-то степени морально устарела и требует замены, поскольку нынешние ГИС предлагают значительно БОЛЬШИЙ арсенал технических средств для более глубокого исследования,

анализа и моделирования данных и их картографического отображения (Шокин и др., 2015; Бондаренко и др., 2021; Зинкевич и др., 2005).

Таблица 1. Процентное соотношение россыпей по типу сырья
Table 1. Percentage of placers by type of raw materials

Тип россыпей	% от общего числа россыпей в ГИС-РМР/ количество
Золотые россыпи	76.7/2774
Оловянные россыпи	7.0/252
Россыпи минералов платиновой группы	3.8/136
Комплексные титано-циркониевые россыпи (ПМР)	2.4/86
Россыпи ископаемой мамонтовой кости	1.9/70
Россыпи ювелирных и поделочных камней	1.8/65
Вольфрамовые россыпи	1.7/60
Алмазные россыпи	1.2/45
Редкометалльные россыпи	1.2/43
Железисто-титановые россыпи	0.9/33
Киноварные россыпи	0.6/23
Титановые (мономинеральные) россыпи	0.4/15
Хромитовые россыпи	0.4/13
Россыпи оптического сырья (пьезокварц)	0.1/4



Рис. 1. Размещение россыпей на территории России (фрагмент БД-РМР).

Fig. 1. Placer location on the territory of Russia (DB-PDR fragment).

Цели и задачи исследования

Основной задачей авторы ставят разработать структуру ГИС, учитывающую ряд аспектов, необходимых для наиболее полного анализа россыпной минерализации (пространственное размещение россыпей разного ранга и типа, связь их и геологическими и структурными комплексами, типоморфизм россыпных компонентов, экономические и технологические характеристики и проч.).

Взяв за основу структуру текстового описания БД-РМР, авторы планируют перенести имеющиеся данные из БД-РМР, собрать и систематизировать материалы по россыпным месторождениям России, а также осуществить анализ и моделирование на основе ГИС-технологий. Также одна из целей — перевести БД-РМР на более современный технический уровень. Что касается программного обеспечения, то ГИС по россыпным месторождениям России создается в PostgreSQL с использованием PostGIS и QGIS.

Структура текстового описания БД-РМР содержит 3 раздела. Первый раздел включает в себя общие сведения об объекте: название, сырьевая группа, географическую привязку. Во втором разделе находятся общие геологические сведения об объекте: россыпная формация, возраст и генезис объекта, условия залегания, степень литификации вмещающих пород. Третий раздел характеризует геологическое строение объекта: геологическая позиция, минеральный состав, строение и литологический состав рудных песков, а также параметры объекта (данные о мощности продуктивного горизонта, глубине залегания и содержании полезного компонента). С целью уточнения этих трех разделов, а также для более глубокого изучения россыпных месторождений будет целесообразно расширить исходную информацию и добавить еще несколько важных показателей россыпных месторождений. Для этого авторы добавили 4 раздел о геолого-экономических показателях, в который вывели содержание основных минералов, минимально промышленное содержание, категорию разведанности, степень освоенности района, глубину залегания, способы отработки, запасы, что позволит высчитать, например, коэффициент первоочередности добычи.

Одним из важных аспектов структуры ГИС является разделение месторождений на сырьевые группы. На данный момент известно более 40 минералов, концентрирующихся в россыпях в кластогенной форме, при этом около 30 из них способны сформировать собственные минеральные типы россыпей (табл. 2), тогда как остальные минералы присутствуют в россыпях других минеральных типов в качестве попутных компонентов. За основу авторами была взята таблица Патык-Кара Н.Г. (2008) с дополнениями в виде выделения в отдельный пункт биогенической сырьевой группы месторождений, состоящей из янтареносного минерального типа россыпей и россыпей ископаемой мамонтовой кости.

Фактический материал

В качестве исходных данных авторами будет использоваться как информация из БД-РМР, так и новые данные из различных источников: статьи, отчеты, фондовые материалы. Источниками данных открытого доступа для сбора и обобщения материалов послужат следующие ресурсы: разработка ФГБУ «ВСЕГЕИ» ГИС-Атлас «Недра России» (<http://www.vsegei.ru>), сервис GoogleEarth (<https://earth.google.com/web/>).

Методы исследования и практическое применение ГИС

Основные методы исследования представлены геолого-статистическими методами, оверлейными операциями, различными мультипликативными показателями.

Под геолого-статистическими методами авторы понимают любые статистические методы, используемые для решения геологических задач, в частности кластерный, дискриминантный, регрессионный, факторный (его модификация – метод главных компонент) анализы, метод информационной энтропии К. Шеннона, а также тренд-анализ, которые хорошо зарекомендовали себя при прогнозе россыпей оловорудных районов Восточной Якутии (Шур, Патык-Кара, 1983), при выявлении промежуточных коллекторов алмазов в Якутии и на Северном Урале (Бочнева, Патык-Кара, 2005; Бочнева, 2005; Диссертация ..., 2005), а также при изучении редкометалльно-титановых россыпей Бешпагир (Ставропольский край) и Центральное (Тамбовская область) (Патык-Кара и др., 2008; Лаломов и др., 2005).

Оверлейные операции (или операции наложения) являются одними из самых мощных и распространенных аналитических алгоритмов, используемых в среде ГИС (Борисова и др., 2021).

Таблица 2.Россыпеобразующие минералы и образуемые ими минеральные типы россыпей(Патык-Кара, 2008 с изменениями и дополнениями).

Table 2.Placer-forming minerals and the mineral types of placers formed by them (Patyk-Kara, 2008 with edits and additions).

Сырьевые группы месторождений	Минеральные типы россыпей	Россыпеобразующие минералы
Благородные металлы	Золотые	Самородное золото , редкоземельные минералы (куларит), шеелит, касситерит, киноварь
	Иридисто-платиновые	Изоферроплатина , рутениридосмин (в виде включений в изоферроплатине), хромшпинелиды, золото, торит
	Иридисто-осиновые	Самородный осмий , золото
	Платиновые	Самородная платина, изоферроплатина , сперриллит, куперит
	Рутениридосиновые	Рутениридосмин (при широком диапазоне состава – от самородного Os до Ru), золото
Цветные металлы	Оловянные, вольфрамово-оловянные и редкометально-оловянные	Касситерит , деревянистое олово
		Касситерит , вольфрамит, золото
		Касситерит , танталит, колумбит, бастнезит, циркон, фергусонит
	Вольфрамовые	Гюбнерит, шеелит , вольфрамит, касситерит, минералы висмута
	Киноварные	Киноварь , самородная ртуть, пирит
Черные металлы	Железистые	Титаномагнетит , магнетит, ильменит, хромит
	Собственно титановые	Ряд ильменит-лейкоксен , псевдуртил
		Ряд лейкоксен-ильменит, монацит, сидерит
Редкие металлы	Тантало- ниобиевые и редкоземельные	Хромшпинелиды , золото, магнетит, ильменит
		Танталит, колумбит , касситерит, бастнезит, фергусонит, циркон
		Пирохлор, колумбит , бастнезит, циркон, ильменит, апатит, магнетит
		Лопарит , сфен, магнетит, ильменит, эвдиалит
		Монацит, пирохлор , ксенотим, рутил, ильменорутит
		Монацит , циркон, ксенотим
Комплексное сырье	Циркониевые	Бадделейт , циркон
	Комплексные редкометально-титановые	Ильменит, рутил, циркон, лейкоксен , кианит, силлиманит, ставролит, монацит, ксенотим, хромшпинелиды, магнетит, турмалин, эпидот, золото, алмаз
Горнохимическое и горно-техническое сырье	Технического корунда и наждака	Корунд
	Баритовые	Барит
	Магнезитовые	Магнезит
	Апатитовые	Апатит
	Пьезокварцевые	Горный хрусталь
Ювелирные и поделочные камни (ЮПК)	Алмазоносные	Алмаз , оливин (хризолит), пироп
	Берилл-топаз-морионовые	Топаз, берилл , горный хрусталь
	Корундовые	Сапфир, рубин
	Комплексные россыпи ЮПК	Топаз, берилл, аквамарин, турмалин , горный хрусталь, сапфир,шпинель, гранат
	Хризолитовые	Оливин (хризолит)
	Гранатовые	Альмандин, пироп , шпинель, корунд, циркон
		Демантоид
	Жадитовые	Жадит, золото
	Нефритовые	Нефрит , гроссуляр, диопсид-гроссуляр
	Агатовые	Агат-сердолик , золото
Биогенические	Янтареносные	Янтарь
	Ископаемой мамонтовой кости	Мамонтовая кость

Примечание. Жирным шрифтом выделены минералы, образующие собственные типы россыпных месторождений; остальные – полезные минералы-спутники в россыпях.

Эти операции основаны на наложении двух и более разноименных картографических слоев и создании производных объектов, возникающих при их геометрическом наложении. Атрибутивная информация, привязанная к исходным объектам, может наследоваться производными объектами напрямую или с использованием различных вычислительных алгоритмов (вычисление среднего, суммирование и др.) (Курлович, 2013). Результатом является графическая композиция (графический оверлей) используемых слоев либо единственный результирующий слой, несущий в себе набор пространственных объектов исходных слоев, топологию этого набора и атрибуты, которые являются производными от значений атрибутов исходных объектов.

Разработка прогнозных мультипликативных показателей, которая позволяет создать систему пространственного расчета и позиционирования мультипликаторов, оценивающих зону вероятного нахождения коренной металлоносности на основе формализованных (количественно оцененных) индикаторных характеристик шлихового золота, методами численного компьютерного моделирования, что было опробовано на примере Вагранского золотоносного узла. Полученные в данном исследовании мультипликативные показатели ориентированы на прогноз двух типов оруденения (золото-сульфидно-кварцевого и гипогенно-гипергенного); при этом для других рудоносных формаций могут быть использованы другие параметры. С помощью этой методики можно планировать геолого-поисковые работы, она может служить основой для дальнейшей разработки более детальных и точных вариантов методики, а также расширения ее на другие геолого-генетические типы минерализации (Лаломов и др., 2020). В результате проведенных исследований в пределах Вагранского золотоносного узла выделена зона, перспективная на выявление коренной минерализации гипогенно-гипергенного типа.

Практическое применение ГИС россыпных месторождений России будет развиваться в трех направлениях, которые выделил для региональных ГИС Северо-Востока России Ворошин С.В. (Ворошин и др., 2006): 1) – подготовка картографических материалов (в векторном или растровом видах); 2) – информационно-справочные системы; 3) – анализ и моделирование.

Результатом работ по первому направлению будут представлены карты для анализа россыпной золотоносности (поскольку в настоящий момент данных именно по золотоносности больше, чем по любому другому сырью) отдельно взятых регионов или по всей территории России в целом.

В качестве информационно-справочной системы ГИС россыпных месторождений России будет актуальна и востребована, поскольку с одной стороны, поиск информации в одном источнике имеет огромное преимущество перед поиском в разных местах и, с другой стороны, высокий интерес к россыпным месторождениям не только в науке, но и в производстве.

Самым интересным и многообещающим является третий вектор: анализ и моделирование. В ГИС собрано большое количество методов исследований данных как векторных, так и растровых, что дает возможность при грамотном подходе к их использованию получить результаты, в разы превосходящие существующие по скорости подсчетов, качеству визуализации и удобству исследователя. Авторами планируется использование геолого-статистических методов, оверлейных операций, а также различных мультипликативных показателей.

Обсуждение и заключение

В практическом плане ГИС россыпных месторождений России, как поликомпонентная и многофакторная система позволит:

- Систематизировать и анализировать любые имеющиеся данные.
- Использовать генетические модели россыпеобразования на основе ГИС-технологий.
- Создавать картографические продукты различных масштабов россыпных месторождений России, регионов и отдельных территорий на геологической, формационной, комбинированной (т. е. совмещающей разнородные данные) основе (рис. 2).
- Оперативно предоставлять те или иные данные по россыпным месторождениям России как справочно-информационная система.

-

- Административное деление – Республика Саха (Якутия).
- Географическая позиция – Новосибирские о-ва, Яно-Индигирская низменность, Колымская низменность.
- Возраст россыпного объекта – четвертичная система.
- Дополнительно – россыпеносные провинции ископаемой мамонтовой кости.

- Administrative division – the Republic of Sakha (Yakutia);
- Geographical position – Novosibirsk Archipelago, Yano-Indigirka lowland, Kolyma lowland;
- Age of placer object – quaternary system;
- Additionally – placer provinces of fossil ivory.

¹ Рисунок 2 визуализирует читателю прошлые возможности БД-РМР, а настоящие возможности мы пока не можем показать, поскольку сейчас работа находится на стадии разработки структуры собственно ГИС.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГЕМ РАН.

1. Бардеева Е.Г., Патык-Кара Н.Г., Веселовский А.В., Маханова Т.М. Требования и проблемы создания базы данных по россыпным месторождениям на основе ГИС-технологий // Геоинформатика. 2004. № 4. С. 3–9.

2. Бондаренко Н.А., Любимова Т.В. Пространственно-статистический анализ сейсмичности Анапско-Геленджикской сейсмоактивной зоны // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа: Коллективная монография по материалам XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ 2021)». Т. XI. М.: Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, 2021. С. 193–198. <https://doi.org/10.34708/GSTOU.2021.54.41.032>.
3. Борисова Т.А., Бешенцев А.Н. Геоинформационная оценка рисков лесных пожаров в бассейне озера Байкал по материалам государственной статистики // Вестник СГУГиТ. Т. 26. № 6. 2021. С. 56–65.
4. Бочнева А.А. Статистические модели полиминеральных полей промежуточных коллекторов россыпных алмазов (на примере месторождений Якутии и Северного Урала). Диссер. на соискание к.г.-м.н. М.: ИГЕМ РАН. 2005. 123с.
5. Бочнева А.А. Энтропийное поле минералов россыпей Эбеляхского алмазоносного района // Геология и разведка. Изв. ВУЗов. Москва, 2005. № 5. С. 33–36.
6. Бочнева А.А., Патык-Кара Н.Г. Структура минеральных ассоциаций как критерий распознавания алмазоносных промежуточных коллекторов // Геоинформатика. 2005. № 3. С. 31–38.
7. Ворошин С.В., Зинкевич А.С., Тюкова Е.Э. Региональные геоинформационные системы для геологических исследований: опыт создания и анализа // Тихоокеанская геология. 2006. Т. 25. № 5. С. 22–38.
8. Зинкевич А.С., Ворошин С.В. Применение ГИС-технологий для расчета баланса рудного и россыпного золота (на примере Дегнекан-Арга-Юряхском рудно-россыпного узла, Магаданская область) // Геоинформатика. 2005. № 2. С. 12–21.
9. Курлович Д.М. Геоинформационные методы анализа и прогнозирования погоды / учеб.-метод. пособие. Минск: БГУ. 2013. 191 с.
10. Лаломов А.В., Бочнева А.А., Чефранов Р.М. Разработка цифровой системы прогнозирования коренных источников золота по результатам шлихового опробования на примере Вагранского россыпного узла (Северный Урал) // Георесурсы. 2020. Т. 22(2). С. 67–76. <https://doi.org/10.18599/grs.2020.2.67-76>.
11. Лаломов А.В., Васильев А.Т., Бочнева А.А. Изменение минеральных ассоциаций в вертикальной зональности Бешпагирского титан-циркониевого месторождения // Минералогические исследования в решении геологических проблем. Матер. Годичного собрания МО РМО. М.: ИГЕМ РАН. 2005. С. 73–75.
12. Мурашов К.Ю., Волков А.В., Платэ А.Н., Петров В.А. Оценка геолого-экономических факторов развития Северного Забайкалья с использованием геоинформационных технологий // Мониторинг. Наука и технологии. 2019. № 1(39). С. 36–41.
13. Патык-Кара Н.Г. Минерагения россыпей: типы россыпных провинций. М.: ИГЕМ РАН. 2008. 528 с.
14. Патык-Кара Н.Г., Левченко Е.Н., Стехин А.И., Барсегян В.В., Бочнева А.А., Чижова И.А., Андрианова Е.А., Дубинчук В.Т. Минеральные ассоциации месторождения титано-циркониевых песков «Центральное» (Восточно-Европейская платформа) // Геология рудных месторождений. 2008. Т. 50. № 3. С. 246–270.
15. Шокин Ю.И., Потапов В.П. ГИС сегодня: состояние, перспективы, решения // Вычислительные технологии. 2015. Т. 20. № 5. С. 175–213.
16. Шур В.И., Патык-Кара Н.Г. Минеральные ассоциации кайнозойских отложений оловорудных районов Восточной Якутии // Литология и полезные ископаемые. 1983. № 5. С. 39–46.
17. Яконовская Т.Б. Геоинформационная аналитическая система «ГИС-торф» для торфодобывающего предприятия // Цифровая экономика и общество: материалы II научно-практической конференции. Тверь: Тверской государственный технический университет. 2022. С. 157–65.