

УДК 553.411.071

© И.С. Голубенко, С.В. Ворошин

*И.С. Голубенко, С.В. Ворошин*

# ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗОЛОТОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ДЕГДЕКАН-АРГА-ЮРЯХСКОМ РУДНО-РОССЫПНОМ УЗЛЕ

## Введение

Анализ геологических геоинформационных систем (ГИС) находится в самом начале своего становления. Плохая структуризация информации, ее субъективность, непредставительность – причины не позволяющие использовать функциональные возможности ГИС в полном объеме. В большинстве случаев работа с геологическими геоинформационными системами сводится к выполнению информационно-справочных запросов. В то же время, благодаря поисковым методам геохимии и геофизики, хорошо разработаны решения для анализа пространственного распределения точек (например, преобразование нерегулярной сети в регулярную, построение карт изолиний и т.д.). Различные алгоритмы анализа линий хорошо известны благодаря методам структурной геологии, применяемых при изучении трещин. В последние годы появились примеры обработки полигонов, составляющих главную содержательную нагрузку геологических карт.

На практике решение конкретной геологической задачи включает в себя выполнение ряда последовательных операций и не ограничивается применением какой-либо одной функции ГИС. В статье, на примере ГИС по геологии и полезным ископаемым Дегдекан-Арга-Юряхского рудного узла, обсуждаются приемы применения мультипликативных методов анализа в геологических ГИС, которые реализованы в виде универсального модуля (расширения ArcView) с единообразным алгоритмом обработки разных типов графических примитивов: точек, линий, полигонов.

## История вопроса

Системное изложение понятий и методов пространственно-статистического анализа геологичес-

ких карт впервые выполнено коллективом авторов возглавляемых В.В. Богацким [2, 3]. На примере центральной части Алтае-Саянской области, восточного склона Кузнецкого Алатау и юго-западной части Восточного Саяна авторы проанализировали пространственное поведение как отдельных геологических признаков (совокупность дизъюнктивных нарушений, количество метасоматических и рудных проявлений), так и мультипликативного показателя «сложности геологического строения» (число геологических образований, приходящихся на площадь, выбранную в качестве элементарной единицы). Расчеты проводились вручную на основе сводной геологической карты масштаба 1:500000. Единицей исследования (элементарной ячейкой) послужили стандартные листы карты масштаба 1:25000, результаты обработки которых были преобразованы в карты изолиний. Этими же авторами раскрыты и описаны такие понятия как: размер, форма, ориентировка элементарной ячейки; выбор исходной геологической основы. Обоснование выбора оценочных параметров сделано на основе многовариантных расчетов и экспериментальных исследований на геологических картах.

В этот же период появляется ряд работ по применению статистических приемов для прогнозно-поисковых целей. Ж. Матероном [12] описаны прикладные аспекты в области приложения статистических методов к задачам геологической разведки и оценки месторождений полезных ископаемых. Изучение и практическое применение пространственно-статистических моделей при поисках и прогнозировании месторождений полезных ископаемых, а также геологическом картировании изложено Н.Н. Боровко [4]. Им охарактеризованы общие принципы статистического анализа пространственных геологических закономерностей: взаимное расположение

объектов на плоскости, распознавание геологических объектов и т.д.

В работе В.В. Марченко [10] предложен подход, на основе которого можно получать статистические характеристики геологических признаков, отображаемых на карте. Геологическая карта с помощью компьютерных технологий может быть преобразована в дискретный вид, позволяющий охарактеризовать пространственное положение каждой элементарной ячейки относительно геологических факторов. Такой подход, по мнению В.В. Марченко, позволяет проводить многовариантные анализы картографической информации. Таким образом, на основе распределения статистических параметров отдельных геологических признаков или же их комбинации открывается возможность выделения площадей благоприятных для локализации оруденения [11].

Трудоемкость обработки картографической информации обусловила достаточно редкое практическое использование предложенных методов. Анализ количественной оценки распространенности (плотности распространения в плане) гранитоидов на уровне дневной поверхности для всей территории Дальнего Востока выполнен Н.П. Романовским [13]. Результаты были представлены в виде карт изолиний с сечением 5 %. Полученные материалы предполагалось использовать для оценки степени гранитизации отдельных геотектонических блоков, объемного изучения районов криптобатолитового магматизма, морфогеотектонических построений, прогнозирования типов и интенсивности эндогенной минерализации. Еще более редко в практическом плане использовались показатели формы геологических тел, которые составляют основу геологической карты и могут характеризовать генезис объектов. Количественная характеристика формы интрузивных массивов в плане (показатель изометричности), зависящая от свойств расплава и тектонической обстановки внедрения, была рассчитана С.В. Беловым [1] для прогноза вольфрамового оруденения.

Методика прогнозирования оруденения посредством геоинформационных технологий с применением методов пространственно-статистического анализа впервые применена австралийскими исследователями в районе золоторудного месторождения Калгурли [20]. Они же впервые использовали ГИС для расчетов изменений показателей формы геологических тел на карте. Прогнозирование основано на выявлении статистических параметров эталонных объектов (рудное поле с уже разведанными крупными запасами) и поиске аналогичных площадей в пределах остальной территории провинции. Другими словами, метод сводится к классификации отдельных металлогенических провинций с исполь-

зованием эталонных значений и прогнозирование оруденения на основе коэффициентов схожести геометрии формы геологических тел. Применение данного подхода для изучения территории террейна Калгурли позволило подтвердить перспективы недавно открытого месторождения Гэст Крэб и схожесть показателей формы рудного поля с месторождением Голден Майн на 96,4 %.

Технология формализации картографических данных (векторных и растровых) реализована в геоинформационной оболочке ГИС ИНТЕГРО, которая оснащена набором специализированных функций, представляющих собой блок операций для прогнозной оценки месторождений полезных ископаемых. Прогнозный блок ГИС ИНТЕГРО выполняет анализ данных и решает типовые задачи, представленных в едином интеллектуальном интерфейсе. Применяемые алгоритмы анализа в блоке наиболее близки используемым в настоящей статье методам, а именно, исходные данные (цифровая модель, карта) разбраковываются на основе применения различных процедур анализа площадных, линейных и точечных картографических покрытий, а результаты представляются в виде нового картографического продукта [15].

Отметим, что в самом общем виде алгоритм пространственно-статистического анализа геологических карт на основе ГИС-технологий был сформулирован задолго до появления самих ГИС [9]. В работе А.П. Куклина предугаданы многие современные способы обработки графической информации недоступные в то время.

Анализ литературных данных показывает, что пространственно-статистический, в том числе и на основе ГИС, анализ используется чаще всего для исследования больших территорий (на уровне металлогенических провинций). Для крупномасштабных карт и отдельных рудных узлов его применение авторам неизвестно. Настоящая статья в какой-то мере восполняет данный пробел.

### **Объект исследования и фактический материал**

Объектом исследования является Дегдекан-Арга-Юряхский рудный узел, расположенный в юго-восточной части Яно-Колымского золотоносного пояса в бассейнах рек Токичана, Толгычана, Дегдекана, Нерючи и Арга-Юряха и пространственно совмещенный с северо-западным замыканием Тенькинской антиклинали Аян-Юряхского антиклинория. Внешние ограничения антиклинали являются в первом приближении границами узла. Геотектоническая позиция района определяется его приуроченностью к Кулар-Нерскому перикратонному турбидитовому террейну [16]. Размещение месторождений и

рудопроявлений в пределах узла подчинено вытянутым в северо-западном направлении трещинным Z-образным структурам, образование которых связано с горизонтальными напряжениями вдоль Тенькинского глубинного разлома и надразломным разуплотнением пород [8, 19]. Существенную роль в контроле оруденения играет также замыкание складчатых структур Тенькинской антиклинали.

Выбор объекта обусловлен его хорошей геологической изученностью; наличием как месторождений, так и многочисленных рассредоточенных рудопроявлений и пунктов минерализации золота, представленных различными структурно-морфологическими типами; отсутствием существенных пострудных эндогенных событий. В качестве картографической основы для анализа взяты материалы о групповой геологической съемке и доизучении масштаба 1:50000 с общими поисками в пределах Арга-Юряхского рудно-россыпного узла (Карелин и др., 1990 г.). Детальность и содержание геоинформационной системы соответствует геологической карте масштаба 1:50000. Общая площадь рассматриваемой территории составляет 2424 км<sup>2</sup>. Относительная площадь выходов стратиграфических подразделений на поверхность (от общей площади, без учета интрузивных образований) следующая: пермские – 65 %, триасовые – 9 %, меловые – 3 %, неоген-четвертичные – 23 %. Общая площадь выходов интрузивных образований составляет 5,6 % анализируемой территории (около 135 км<sup>2</sup>).

Наиболее распространены метатерригенные отложения верхоянского комплекса, представленные родионовской свитой нижней перми; пионерской, атканской, омчакской и старательской свитами верхней перми [5], а также трусской, бурэнджинской, эликской и слоновской толщами триасового возраста (Карелин и др., 1990 г.). Эти породы совместно с позднеюрско-раннемеловыми малыми интрузиями и дайками нера-бохапчинского, колымского и арга-юряхского комплексов слагают нижний структурный этаж территории, который наиболее важен с точки зрения анализа размещения коренного оруденения.

Меловые субвулканические и интрузивные образования тарынского, тас-кыстабытского, биликанского, уракского комплексов и комплекса малых интрузий, а также позднемеловые вулканы преимущественно кислого состава, выполняющие Беленгинскую вулканно-тектоническую впадину, отнесены к среднему структурному этажу. Его значение для анализа золотоносности узла крайне невелико.

Рыхлые континентальные отложения неоген-четвертичного возраста, которыми выполнены Хиникенская впадина и днища современных водотоков, слагают верхний структурный этаж. Эти образования занимают почти четверть территории узла и

важны с точки зрения анализа россыпной золотоносности. В то же время при анализе закономерностей распространения коренной золотоносности они играют негативную роль, поэтому при создании цифровой модели геологической карты неоген-четвертичные отложения были вычленены в отдельный тематический слой, нижележащие геологические границы были экстраполированы.

Несмотря на малое распространение по площади, в легенде к геологической карте выделено 8 интрузивных комплексов. Изверженные породы представлены плутоническим и вулканическим классами трех групп: основными, средними и кислыми породами нормального и субщелочного рядов. Они слагают многочисленные дайки, редко дайкообразные тела, небольшие штоки, субвулканические интрузии и некки. С точки зрения анализа золотоносности наиболее важны дайковые (линейные) образования.

Главным полезным ископаемым изученной территории является золото. Всего разведано одно коренное месторождение, 42 россыпных, выявлено 12 рудопроявлений и многочисленные пункты минерализации золота. Россыпные месторождения практически все отработаны. Данные о добыче россыпного золота (табл. 1) были взяты из Кадастра россыпных месторождений Охотско-Колымского региона на 1999 год (Вознесенский и др., 1999 г.).

Структура геоинформационной системы по геологии и полезным ископаемым Дегдекан-Арга-Юряхского рудного узла максимально полно отражает легенду к геолкарте 1:50000 масштаба и организована в виде тематических слоев, которые представлены в формате шейп-файлов в географической системе координат (табл. 2, рис. 1). При компиляции данных, создании цифровых моделей и анализе применялся комплекс программных продуктов ArcGIS (ESRI, США).

### Методы

Пространственно-статистический анализ геологической карты представляет собой совокупность методов формализации сложной графической основы, оценку пространственных неоднородностей распределения признаков, считываемых с карты, и воспроизведение результатов в новом картографическом продукте. Появление цифровых карт и ГИС позволяет вернуться к уже разработанным приемам статистической обработки пространственной информации на качественно новом уровне. Векторная графическая составляющая ГИС представляется тремя типами графических примитивов (точка, линия, полигон), в соответствии с ними применяется набор процедур анализа слоев цифровой карты (табл. 3). Полученные после обработки результаты представ-

**Добыча россыпного золота на территории Дегдекан-Арга-Юряхского узла в пределах бассейнов руч. Дегдекан, Токичан, р. Арга-Юрях**

Название водотока	Количество добытого россыпного золота, кг
<i>Бассейн р. Арга-Юрях</i>	
Улахан-Аурум (с Ноктюрном)	6137
Арга-Юрях	2662
Ковбой	1378
Метис	938
Апаш	680
Барс	431
Лев. Метис	360
Индустрия	198
Залетный	103
Бодрый	96
Раскол	42
Николаевский	40
Ровный	34
Баян	33
Прав. Метис	32
Усталый	26
Незнакомец	20
Креол	4
Руал	3
Узор	2
Москвич	1
<b>Всего бассейн р. Арга-Юрях</b>	<b>13220</b>
<i>Бассейн руч. Токичан</i>	
Токичан	4011
Последний	405
Золотистый	311
Боец	239
Майский	63
Водолей	54
Привет	18
Сан	8
<b>Всего бассейн руч. Токичан</b>	<b>5109</b>
<i>Бассейн руч. Дегдекан</i>	
Дегдекан	25952
Распадок 6	393
Удачный	206
Верный	165
Узкий	125
Приятель	63
Распадок 2	18
Распадок 1	9
<b>Всего бассейн руч. Дегдекан</b>	<b>26931</b>



Таблица 2

**Состав ГИС по геологии и полезным ископаемым Дегдекан-Арга-Юряхского рудно-россыпного узла. Информативность тематических слоев**

Название тематического слоя	Количество объектов, шт.	Поля атрибутивных таблиц
Стратиграфические образования	3846	Система, отдел, свита, состав, мощность, площадь, периметр
Интрузивные образования	309	Система, отдел, комплекс, фаза внедрения, состав, площадь, периметр
Маркирующие пласты (выраженные в масштабе карты)	260	Площадь, периметр, состав
Четвертичные отложения	1194	Система, отдел, горизонт, состав, мощность, высота террасы, уровень террасы, площадь, периметр
Россыпи (выраженные в масштабе карты)	243	Площадь, периметр, название, количество добытого золота
Разрывные нарушения	1898	Длина
Дайки	1624	Система, отдел, комплекс, фаза внедрения, состав, длина
Жилы, зоны прожилкования	1400	Система, отдел, комплекс, фаза внедрения, состав, длина
Маркирующие пласты (не выраженные в масштабе карты)	762	Состав
Россыпи (не выраженные в масштабе карты)	242	Название, количество добытого золота
Месторождения, рудопроявления и пункты минерализации	108	Название
Развалы гидротермальных образований	609	Система, отдел, комплекс, фаза внедрения, состав
Речная сеть	3586	Название водотока, длина
Рельеф (масштаб 1:200 000)	3911	Высота

ляются в виде новых самостоятельных слоев, с которыми возможна дальнейшая манипуляция средствами оверлейного анализа. Таким образом, можно последовательно проанализировать всю имеющуюся на геологической карте информацию, а, варьируя последовательностью и сочетанием приемов, выполнить многовариантные расчеты и «подобрать» наилучший результат.

Подчеркнем, что процедуры анализа информации разных масштабов должны существенно отличаться между собой. Это следует из различия задач металлогенических исследований, проводимых на основе мелкомасштабных, среднемасштабных и крупномасштабных геологических карт.

Возможно два способа обработки содержимого векторной цифровой карты: пообъектный и с помощью элементарной ячейки. Алгоритм первого способа построен на определении показателей отдельно для каждого объекта, независимо от внешних факторов. Этот метод может использоваться как для получения интересующих параметров отдельно взятого объекта (направление объекта или форма интрузивного тела), так и для получения нерегулярной сети данных, которую впоследствии можно преобразовать в регулярную. Алгоритм второго способа

основан на разбиении исследуемой площади регулярной сетью элементарных ячеек и вычислением для каждой из них средневзвешенных значений параметров объектов, получившихся в результате отсечения территории ячейкой. При этом точность зависит от таких факторов как размер, форма ячейки и способ взаимного расположения ячеек [3]. Варьируя методами и дополнительными параметрами можно достичь необходимой точности измерений. Выходные данные организуются чаще всего в виде точечного слоя, по которым строятся карты изолиний. Точки соответствуют центрам ячеек и содержат рассчитанные характеристики в виде атрибутов. Примером использования второго способа является анализ геологической ГИС с целью получения регулярной сети данных, обеспечивающих количественную оценку взаимосвязи геологических объектов [6]. Второй путь во многих случаях гораздо легче технически реализуем.

На результаты анализа существенное значение оказывают форма и размер элементарной ячейки. Оптимальной формой является окружность в силу своей изотропности по разным направлениям [3]. Чтобы окружность полностью заполнила площадь необходимо перекрытие, от площади которого зависит

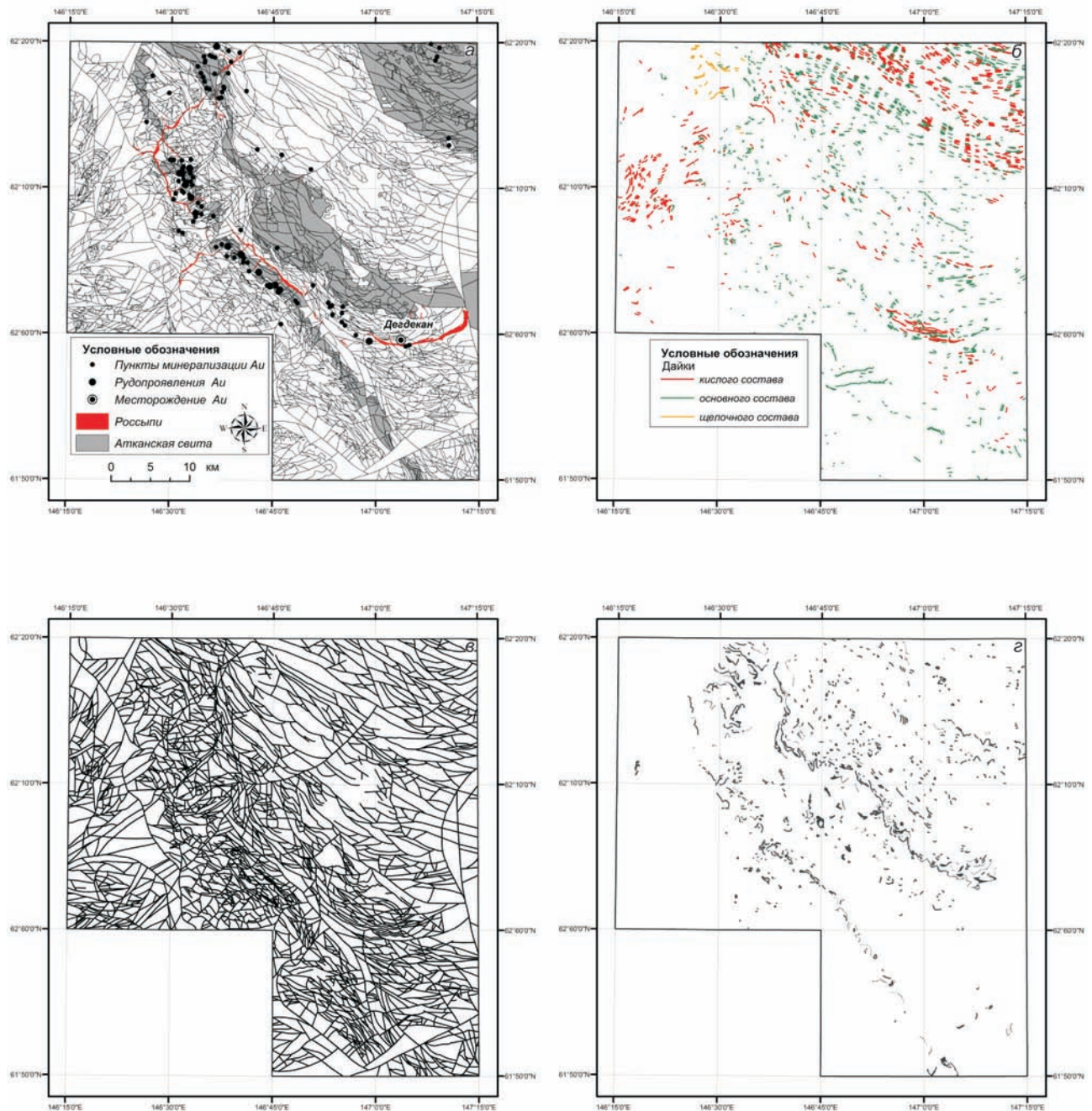


Рис. 1. Фрагменты ГИС по геологии и полезным ископаемым Дегдекан-Арга-Юрхского рудно-россыпного узла: геологические границы, рудные и россыпные объекты (а), дайки (б), разрывные нарушения (в), маркирующие горизонты (г)

Таблица 3

**Представление геологических объектов в виде графических примитивов и методы их анализа**

Геологические объекты	Графические примитивы	Методы анализа
Стратиграфические и литологические подразделения; Интрузивные образования	Полигон	Анализ плотности, анализ направлений, анализ формы
Разрывные нарушения; Дайки; Жилы, зоны прожилкования; Маркирующие горизонты	Линия	Анализ плотности, анализ направлений
Месторождения, рудопроявления и пункты минерализации	Точка	Анализ плотности

степень сглаживания. Мы использовали минимальное перекрытие, которое обеспечивает сглаживание по шести направлениям и вписанную фигуру в виде шестиугольника. Труднее всего определить оптимальный размер элементарной ячейки (радиус окружности), который, как правило, подбирается экспериментальным путем (т.к. зависит от масштаба исходных данных). В то же время существует понятие «оптимальной ячейки», величина которой равна удвоенной площади карты, приходящейся на один объект [7]. Однако при проведении расчетов пришлось отказаться от использования этой формулы в виду слабой информативности рассчитанных значений параметров. Выбор радиуса элементарной ячейки основывался на площади геологических объектов и дробности тер-

ритории (показателе плотности объектов, попадающих в отсекающую ячейку). Среднее значение площадей объектов, слагающих территорию составляет 0,58 км<sup>2</sup>, большая часть которых 85,2 % (от общего числа объектов) приходится на интервал площадей до 1 км<sup>2</sup>, максимальное же значение площади достигает 24,2 км<sup>2</sup>. Таким образом, размер ячейки (радиус) должен быть близок к параметру 1 км. Для эксперимента были выбраны ячейки с размерами радиусов: 1, 2, 3 и 4 км. Сопоставление выборок по показателю дробности территории показало, что наиболее близкое к нормальному распределению показатель дробности имеет с ячейкой с радиусом 2 км, которая и была использована для проведения расчетов (табл. 4).

Таблица 4

**Описательная статистика показателя дробность территории для разных значений размера элементарной ячейки**

Параметры	Радиус ячейки, км			
	1	2	3	4
Количество	958	258	122	65
Среднее	0,266	0,342	0,368	0,437
Медиана	0,233	0,329	0,365	0,407
Стандартное отклонение	0,148	0,206	0,244	0,260
Дисперсия	0,022	0,042	0,06	0,067
Эксцесс	0,989	-0,275	-0,521	-0,723
Асимметричность	0,831	0,481	0,386	0,315
Минимум	0	0	0	0
Максимум	1	1	1	1

Изложенные методы анализа реализованы в виде расширения для ArcView, где собраны все необходимые алгоритмы анализов для точек, линий и полигонов и создан интерактивный интерфейс подбора сценария для проведения многовариантных расчетов.

Выходные данные (в данном случае – точечные покрытия) интерполировались по методу локальных полиномов модулем Geostatistical Analyst для ArcGIS. Следующим шагом выполнялась классификация, где задавались верхняя и нижняя границы для каждого класса (границы классов для различных параметров принимались общие). Затем осуществлялся экспорт интерполированной поверхности в векторный формат (например, шейп-файл). Обработка полученной информации сводилась к использованию стандартных функций ГИС (средствами оверлейного анализа: spatial join, dissolve). В итоге была проведена статистическая оценка и выявлены геологические признаки благоприятные для локализации золотого оруденения.

**Полученные результаты**

*Точечные объекты.* Нерегулярная сеть точек золоторудных месторождений, рудопроявлений и

пунктов минерализации на площади узла была преобразована в регулярную, и построены изолинии плотности размещения коренных объектов. По изолиниям отчетливо фиксируются максимумы, пространственно совпадающие с территорией Аурумского рудного поля в среднем течении р. Арга-Юрях, где распространены многочисленные пункты рассеянной минерализации (рис. 2а). Полученные результаты отражают экстенсивность оруденения в понимании С.С. Смирнова [14]. Для того чтобы оценить интенсивность оруденения узла мы использовали данные по добыче и запасам коренной и россыпной золотоносности в тоннах, в отличие от определения принятого С.С. Смирновым, которым за интенсивность принимался процент выхода промышленно значимых объектов. Учет количества добытого из россыпей золота производился путем присвоения значения точке, соответствующей началу россыпи или, в случае большой протяженности, началу обогащенных блоков, составляющих единое тело россыпи. По величинам количества добытого металла и запасов была также составлена схема золотоносности в изолиниях, на которой выявились участки максимальной интенсивности минерализации, пик которой приходится на территорию Дегдеканского



рудного поля и в меньшей степени Бодринского рудного поля, средние значения совпадают с Аурумским и Токичанским рудными полями (рис. 2б).

*Линейные объекты.* Выполненные вычисления плотности разрывных нарушений показали, что

максимальные значения этого признака территориально совпадают с Токичанским рудным полем (бассейн р. Токичан). Максимальное распределение плотности даек приходится на Дегдеканское рудное поле и территорию в нижнем течении р. Арга-Юрях,

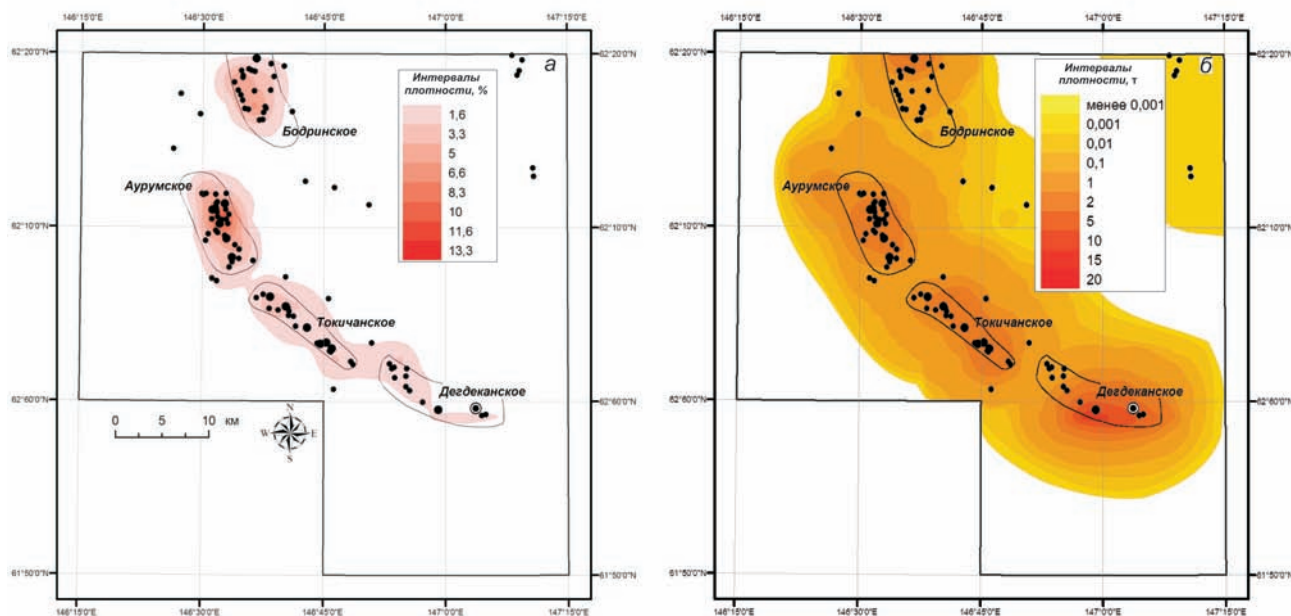


Рис. 2. Экстенсивность (а) и интенсивность (б) золотого оруденения Дегдекан-Арга-Юряхского рудно-россыпного узла (подписаны рудные поля; пояснения в тексте)

где широкое распространение имеет арга-юряхский дайковый комплекс. Распределение плотности маркирующих горизонтов неравномерно по площади и отражает замыкание складчатых структур на территории узла. В пределах Аурумского и Токичанского рудных полей оруденение тяготеет к наибольшим значениям плотности маркирующих слоев, золоторудные объекты Бодринского рудного поля локализованы в участках со средними показателями этого параметра. В областях с близкими к нулевым значениям плотности маркирующих горизонтов локализуется Дегдеканское рудное поле (рис. 3).

Роза-диаграммы направлений для разрывных нарушений, даек, кварцевых жил и маркирующих горизонтов (рис. 4) строились на основании *пообъектного* способа формализации линейных объектов (см. табл. 3). Диаграммы похожи между собой, хотя и наблюдаются незначительные отличия: разрывные нарушения имеют диапазон ориентировок  $110^{\circ}$ - $150^{\circ}$ , дайки  $100^{\circ}$ - $130^{\circ}$ , маркирующие слои  $95^{\circ}$ - $125^{\circ}$ . В целом направления анализируемых объектов испытывают тенденцию к субширотной ориентировке.

*Полигональные объекты.* Результатом анализа объектов стратиграфических подразделений и интрузивных образований являются количественные значения параметров формы и дробности территории, которые интерпретировались в виде карт. Под пара-

метром дробности понимается плотность распределения полигональных объектов на территории узла. Максимальные значения показателя дробности приурочены к зонам максимальной тектонической трещиноватости и пространственно совмещены с Аурумским и Токичанским рудными полями. Положение Дегдеканского и Бодринского рудных полей фиксируется интервалами низких значений. При анализе формы геологических тел были выбраны наиболее информативные параметры – удлиненность и изометричность. Предварительно рассчитанная корреляция показала, что все параметры, за исключением двух указанных, имеют положительный коэффициент корреляции. Максимум распределения удлиненности и изометричности не превышает значения 0,5, а в области с наибольшими значениями параметра удлиненности локализуется Дегдеканское рудное поле и большая часть золоторудных объектов Токичанского рудного поля. В пределах более низких значений располагаются Бодринский и Аурумский рудные узлы. Прямо противоположная ситуация с параметром изометричности: пики максимумов распределены неравномерно по территории, к областям с минимально проявленной изометричностью геологических объектов приурочено Дегдеканское рудное поле, в областях средних значений размещены Токичанский, Аурумский и Бодринский рудные поля (рис. 5).



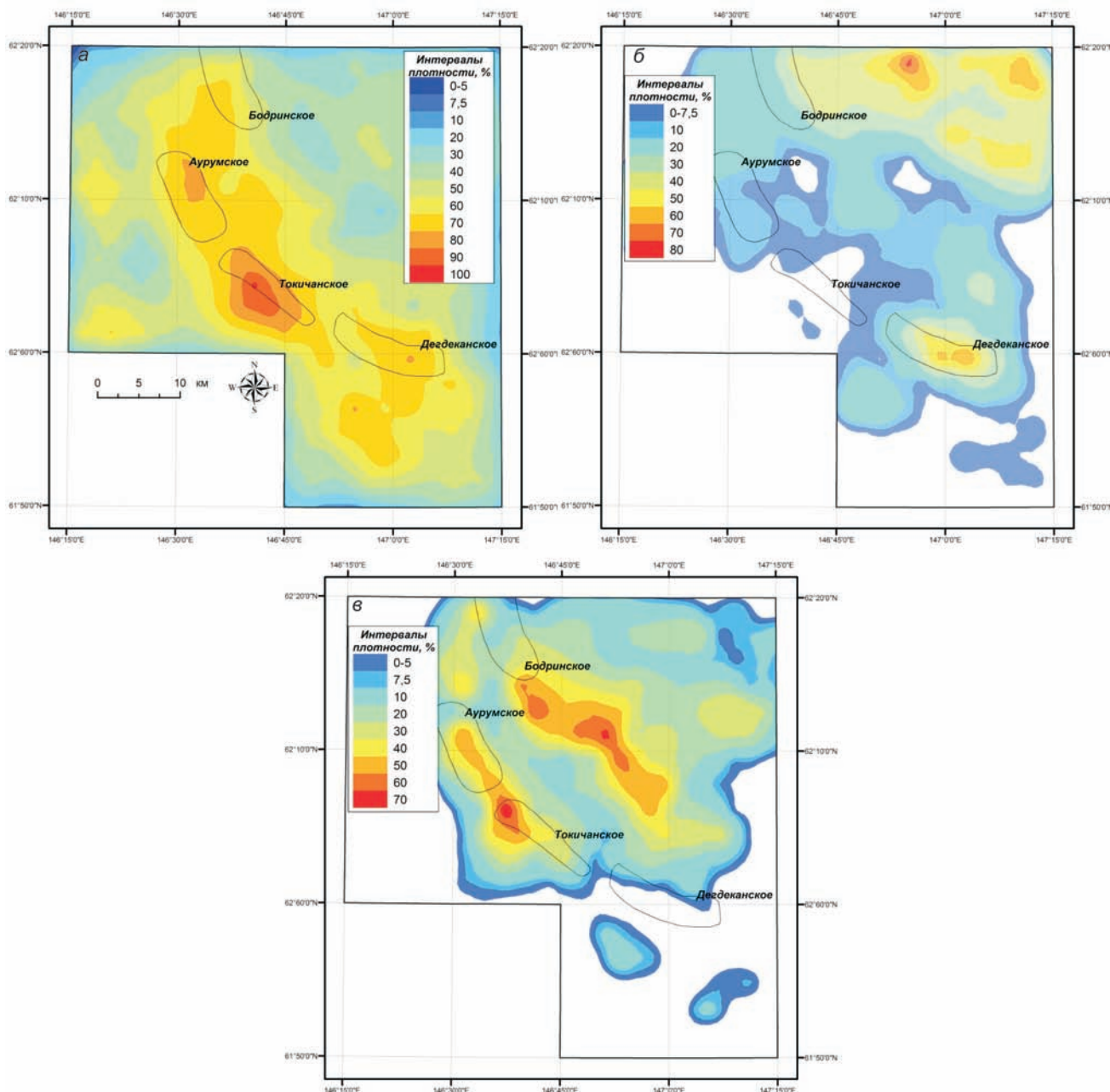


Рис. 3. Анализ плотности линейных объектов на территории узла: разрывные нарушения (а), дайки (б), маркирующие горизонты (в)

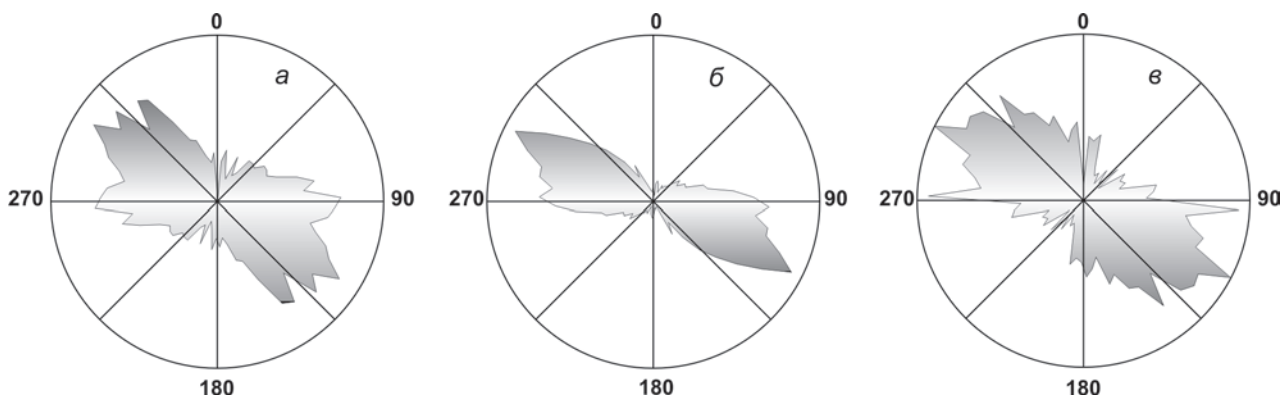


Рис. 4. Розы диаграммы направлений: разрывные нарушения (а), дайки (б), маркирующие горизонты (в)

Совмещение схем плотности оруденения с другими признаками и вычисление статистических характеристик показало, что наиболее значимые результаты получены при обработке данных о раз-

рывных нарушениях, маркирующих горизонтах, коэффициенте дробности и параметре удлиненности. Причем были выполнены как нормированные, так и ненормированные расчеты, т.е. количество золоти-

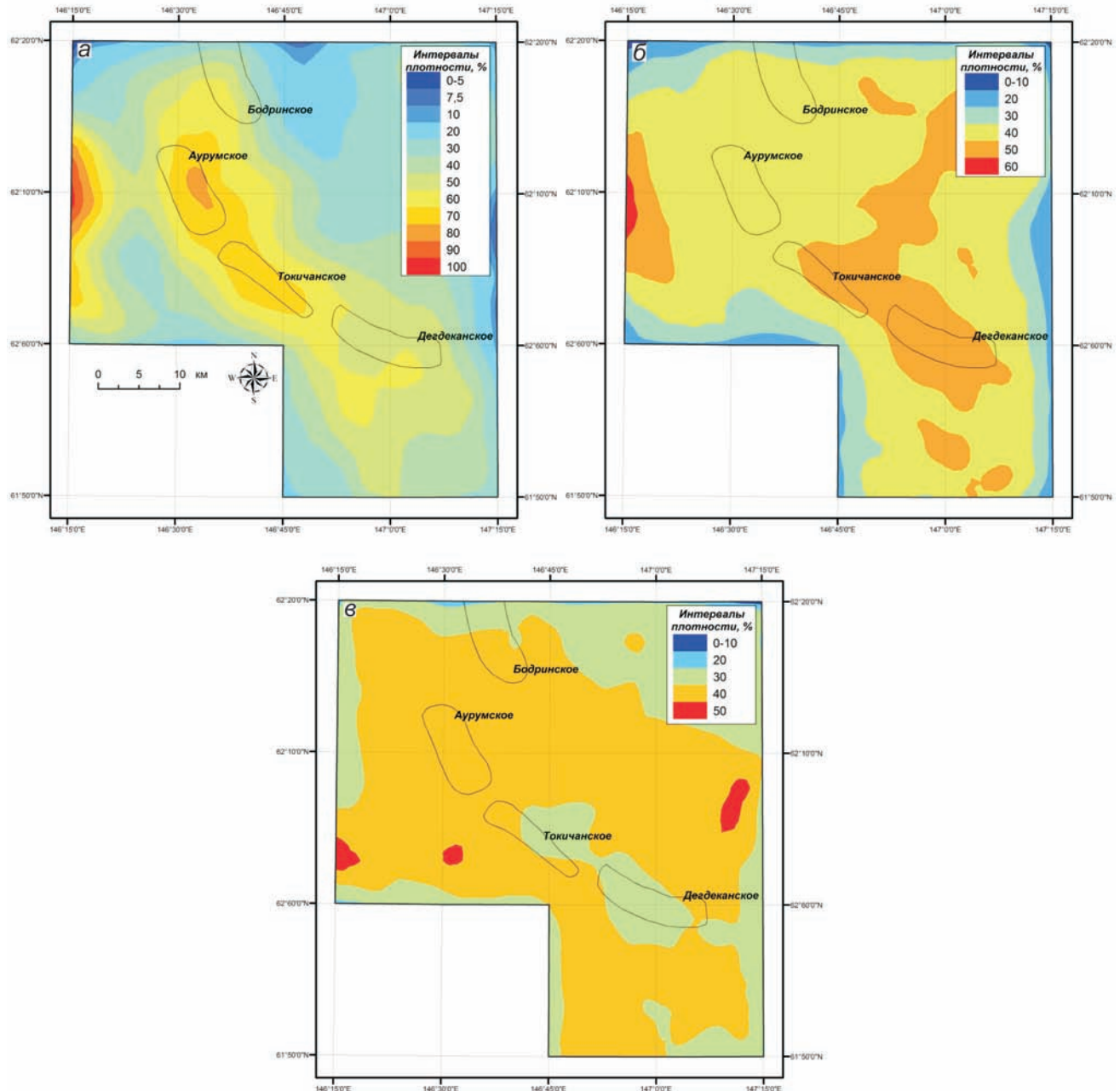


Рис. 5. Анализ полигональных объектов: коэффициент дробности территории узла (а); б-в – параметры формы: удлиненность (б) и изометричность (в)

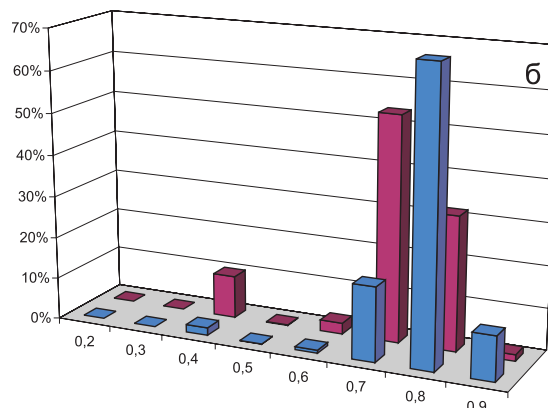
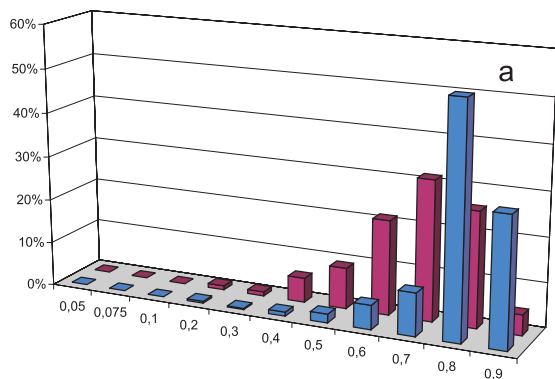
рудных объектов, попадающих в интервалы плотности того или иного показателя (характеристики), производился как с учетом площадного ранжирования интервалов, так и только по признаку пространственного совмещения (рис. 6).

### Обсуждение результатов

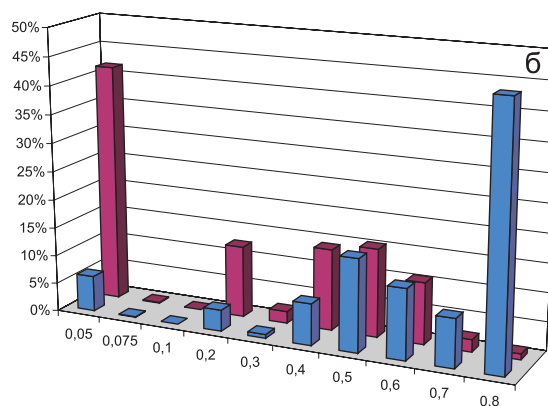
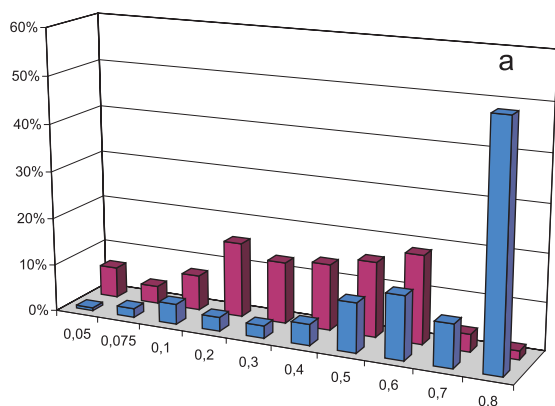
Комплексный анализ цифровых картографических данных на территорию Дегдекан-Арга-

Юряхского рудно-россыпного узла позволил выявить признаки, благоприятные для локализации золотого оруденения, и на количественной основе оценить известные закономерности размещения коренной минерализации. В этом смысле рассмотренная технология аналогична геохимическим и геофизическим поисковым методам: конечным результатом является количественная разbroковка установленных аномалий.

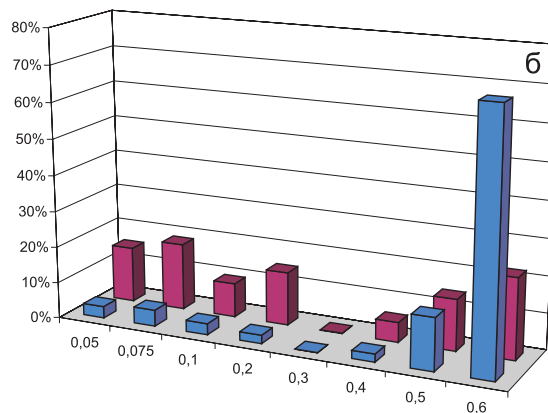
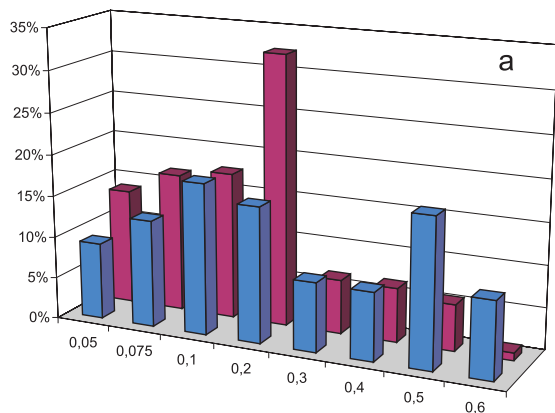
Разрывные нарушения



Маркирующие горизонты



Дайки



Удлиненность

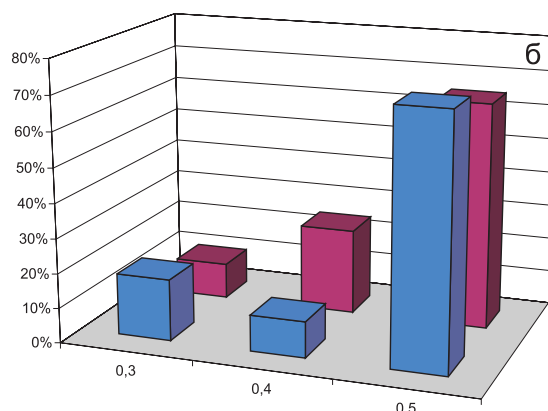
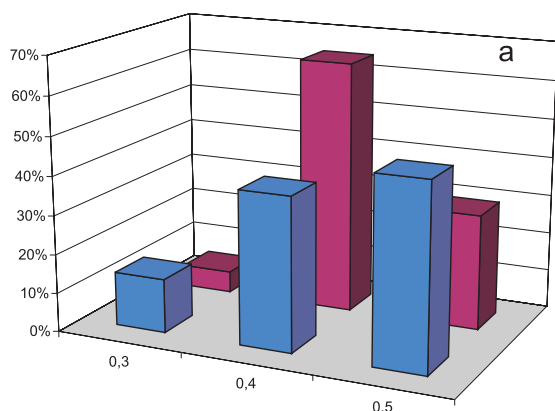


Рис. 6. Гистограммы зависимостей распределений экстенсивности (а) и интенсивности (б) золотого оруденения Дегдекан-Арга-Юряхского рудно-россыпного узла от геологических признаков

Манипуляции с точечными слоями дают возможность оценить экстенсивность и интенсивность золотого оруденения узла. Экстенсивность характеризуется максимальными значениями в пределах Аурумского рудного поля, где действительно сосредоточено наибольшее количество рассеянной коренной минерализации. В тоже время интенсивность оруденения, с учетом добытого металла и прогнозных запасов, территориально совпадает с Дегдеканским рудным полем, в котором локализуется самое значительное коренное месторождение золота в узле – Дегдеканское и наиболее крупные россыпи с суммарной добычей около 30 т золота (см. табл. 1).

Зависимость экстенсивности и интенсивности оруденения на территории Дегдекан-Арга-Юрхского узла от геологических признаков сведены в табл. 5. При анализе приведенных геологических характеристик выявляется, что взаимосвязь между численными значениями экстенсивности и интенсивности оруденения аналогична для разрывных нарушений, маркирующих горизонтов, дробности территории, параметра удлиненности. Можно констатировать, что пространственное размещение золоторудных объектов и интенсивность золотоносности в узле тяготеет к зонам максимальной плотности разломов и дробности территории.

Таблица 5

**Зависимость экстенсивности и интенсивности оруденения на территории Дегдекан-Арга-Юрхского узла от геологических признаков**

Геологические характеристики и показатели формы	Экстенсивность				Интенсивность			
	Нормированные по площади		Не нормированные по площади		Нормированные по площади		Не нормированные по площади	
	Интервалы плотности	Кол-во золоторудных объектов, %	Интервалы плотности	Кол-во золоторудных объектов, %	Интервалы плотности	Добыча+запасы Au, %	Интервалы плотности	Добыча+запасы Au, %
Разрывные нарушения	0,7-0,8	52,1	0,6-0,7	31,5	0,7-0,8	69,1	0,6-0,7	53,6
Дайковые образования	0,075-0,1 0,4-0,5	18,2 17,8	0,1-0,2	32,4	0,5-0,6	70,2	0,5-0,6	22,2
Маркирующие горизонты (не выраженные в масштабе карты)	0,7-0,8	50,5	0,5-0,6	18,5	0,7-0,8	45,1	0-0,05	41,7
Маркирующие горизонты (выраженные в масштабе карты)	0,5-0,6	49,8	0,1-0,2	37	0,1-0,2	40,5	0-0,05	45,1
Стратиграфические подразделения и интрузивные образования	0,4-0,5	45,9	0,6-0,7	34,3	0,7-0,8	57,4	0,4-0,5 0,6-0,7	28,2 33,4
Удлиненность	0,4-0,5	47,3	0,3-0,4	64,8	0,4-0,5	72	0,4-0,5	65,1
Изометричность	0,2-0,3	40,1	0,2-0,3	64,8	0,1-0,2	73	0,1-0,2	58,7

Характер зависимости экстенсивности оруденения от распространенности даек выявляет две группы золоторудных объектов, одна из которых приурочена к площадям с малой концентрацией дайковых тел, другая, наоборот – с их повышенным количеством. Максимум интенсивности оруденения, напротив, тяготеет к зонам наибольшей локализации свит даек (см. табл. 5). Результаты хорошо согласуются с геологическими данными о наличии на территории узла нескольких структурно-морфологических типов оруденения [17]. На количественном уровне подтверждается также приуро-

ченность минерализации к диамиктитам атканской свиты, для которой характерна самая высокая плотность золоторудных объектов на единицу площади (см. табл. 6).

Результаты статистического анализа направлений линейных объектов (свит даек, разломов) ячейкой согласуются с Z-образной конфигурацией трещинных структур (рис. 7). Субширотное (до северо-восточного) простираение даек в междуречье Дегдекана и Толгычана сменяется северо-западным на водоразделе Дегдекана и Токичана и вновь испытывает тенденцию к субширотной ориентировке в бассейне руч.



Таблица 6

Количество золоторудных объектов в пермских стратиграфических подразделениях

Наименование подразделения	Площадь, км <sup>2</sup>	Количество полигонов	Количество золоторудных объектов	Плотность объектов на 1 км <sup>2</sup>
Родионовская	62,13	133	0	0
Арга-Юряхская	161,63	414	6	0,037
Пионерская	277,34	487	14	0,05
Арга-Юряхская+Пионерская	438,97	901	20	0,045
Атканская	457,17	844	44	0,096
Омчакская	585,64	1065	42	0,071
Старательская	481,12	466	0	0
<b>Всего</b>	<b>2423,32</b>	<b>4155</b>	<b>108</b>	<b>0,044</b>

Улахан-Аурум и субширотного отрезка долины р. Арга-Юряха. По мнению В.Г. Шахтырова [18] Z-образный рисунок даек и разломов, отражает левосдвиговые горизонтальные деформации вдоль Тенькинско-го глубинного разлома. Ориентировки маркирующих горизонтов, разрывных нарушений и даек схожи между собой, что может служить доказательством соскладчатого происхождения большей части трещинных структур, вмещающих дайки (см. рис. 2).

При рассмотрении закономерностей размещения рудной минерализации в зависимости от показателей формы полигональных объектов прослеживается ее приуроченность к средним значениям плотности (интервал 0,4-0,5) таких показателей формы, как удлиненность и изометричность (см. табл. 5). Детально параметры формы охарактеризованы нами ранее [6]. Интересна зависимость максимума плотности оруденения от средних значений параметров

формы, так как форма объектов, в данном случае геологических тел, оценивается количественно в диапазоне значений от 0 до 1. Данный факт подтверждает блоковое строение территории Дегдекан-Арга-Юряхского рудно-россыпного узла, в отличие от соседних узлов (Омчакского, Пионерского), что и определяет размещение золотого оруденения на изученной территории.

**Выводы**

Сочетание геоинформационных технологий с методами пространственно-статистического анализа позволяет на качественно новом уровне обрабатывать геолого-картографическую информацию. Важные в практическом плане результаты могут быть получены как при работе с мелкомасштабными картами (на уровне металлогенических провинций), так и при средне-, крупномасштабных исследованиях (на

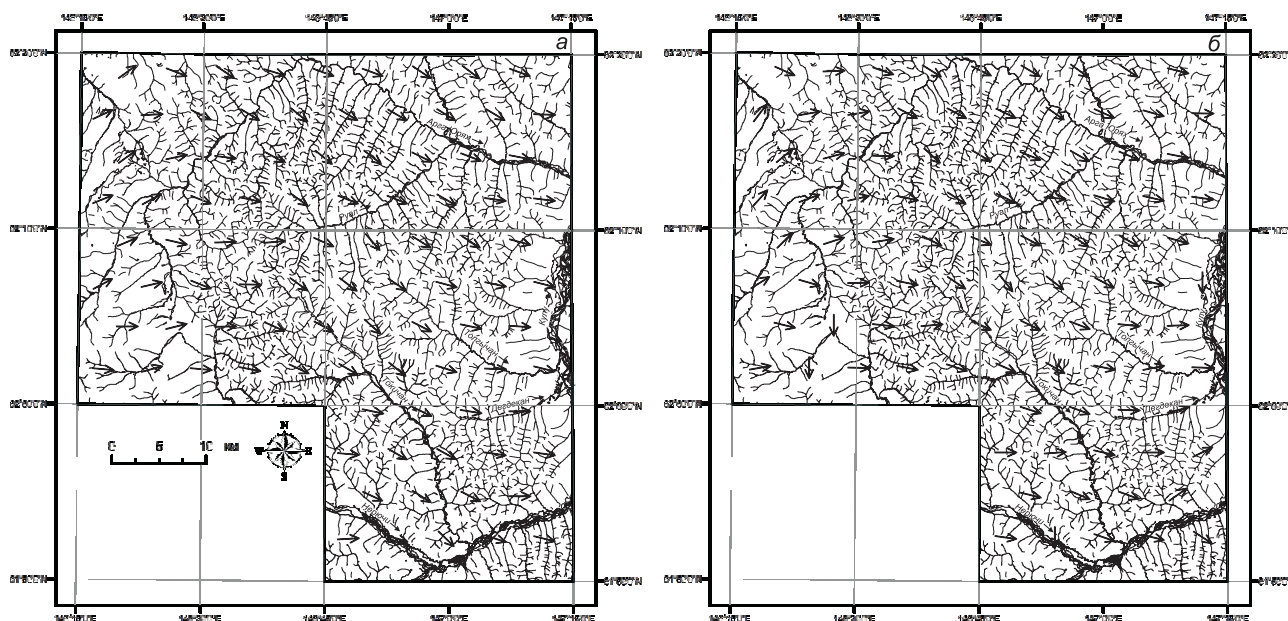


Рис. 7. Смена преобладающих направлений разрывных нарушений (а) и даек (б) на территории узла (пояснения в тексте)

уровне рудных районов и узлов). Получаемая количественная оценка признаков, благоприятных для локализации оруденения, дает возможность разбрасывать перспективные площади.

В частности, результаты пространственно-статистического анализа территории Дегдекан-Арга-Юряхского рудно-россыпного узла подтверждают литологический контроль оруденения: благоприятной средой для локализации золоторудной минерализации являются отложения атканской и, менее, омчакской свиты. Золоторудная минерализация напрямую связана с разрывными нарушениями, а именно объекты концентрируются в наиболее раздробленных участках. Зависимость плотности оруденения от даек и маркирующих горизонтов (гравелиты, песчаники и алевролиты) имеет бимодальный характер, что согласуется с выделением в пределах узла нескольких структурно-морфологических типов золото-кварцевых руд – околодайкового, прожилково-вкрапленного и жильного.

Работа выполнена при поддержке гранта ДВО РАН № 05-III-Г-08-021. Авторы благодарят Ю.А. Ручкина за реализацию алгоритма в виде расширения для ArcView, а также В.Г. Мельника, А.С. Зинкевича и Е.Э. Тюкову за активные обсуждения и конструктивные замечания, сделанные в ходе выполнения работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Белов С.В. Хоггарская вольфрамоносная провинция (Центральная Африка) // Геология рудных месторождений, Т. 41, № 1, 1999. С. 15-35.
2. Богацкий В.В., Суганов Б.И. Пространственно-статистический анализ сложности геологического строения и его применение в металлогенических целях // ДАН СССР, 1968, т. 181, № 1. С. 165-168.
3. Богацкий В.В., Коллеганов Ю.М., Суганов Б.И. Пространственно-статистический анализ геологического строения и размещения полезных ископаемых. М., Недра, 1976. 104 с.
4. Боровко Н.Н. Статистический анализ пространственных геологических закономерностей. Л.: Недра, 1971. 174 с.
5. Бяков А.С., Ведерников И.Л. Стратиграфия пермских отложений северо-восточного обрамления Охотского массива, центральной и юго-восточной частей Аян-Юряхского антиклинория: Препринт. Магадан: СВКНИИ ДВО АН СССР, СВПГО, 1990. 69 с.
6. Голубенко И.С., Ручкин Ю.А., Ворошин С.В. Двухмерный анализ формы полигональных объектов в геоинформационных системах геологического содержания // Геоинформатика, № 3, 2003. С. 3-12.
7. Гуськов О.И., Кушнарев П.Н., Таранов С.М. Математические методы в геологии. Сборник задач: Учебное пособие для вузов. М.: Недра. 1991. 205 с.
8. Еремин Р.А., Шахтыров В.Г. Типизация геолого-структурных обстановок проявления золото-кварцевой формации для прогнозирования оруденения // Тихоокеан. геол., № 5, 1985. С. 72-78.
9. Куклин А.П. Электронно-вычислительная машина «читает» геологические карты // Природа, № 2, 1972. С. 94-96.
10. Марченко В.В. Человеко-машинный анализ карт геологического содержания // Советская геология, № 7, 1982. С. 13-26.
11. Марченко В.В. Человеко-машинные методы геологического прогнозирования. М.: Недра, 1988. 232 с.
12. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. М.: Мир, 1968. 408 с.
13. Романовский Н.П. Способ количественной оценки проявлений гранитоидного магматизма при глубинных геолого-геофизических исследованиях // Тихоокеан. геол., № 1, 1984. С. 113-120.
14. Смирнов С.С. К оценке оловорудных районов // Советская геология, № 3, 1941. С. 3-16.
15. Создание Государственных геологических карт на базе ГИС ИНТЕГРО / Методические рекомендации. – М., 2001. 208 с.
16. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Отв. ред.: Л.М. Парфенов, М.И. Кузьмин. – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 571 с.
17. Фирсов Л.В. Главнейшие структурно-морфологические типы золоторудных месторождений Яно-Колымского золотоносного пояса // Труды ВНИИ-1. Геология. Магадан, Вып. 27, 1957. С. 1-25.
18. Шахтыров В.Г. Методические рекомендации по изучению сдвигов при поисково-съёмочных и разведочных работах. Магадан: СВКНИИ, 1987. 67 с.
19. Шахтыров В.Г. Тенькинский глубинный разлом: тектоническая позиция, инфраструктура, рудоносность // Геологическое строение, магматизм и полезные ископаемые Северо-Восточной Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1997. С.62-64.
20. Gardoll S.J., Groves D.I., Knox-Robinson C.M., Yun G.Y. and Elliott N. Developing the tools for geological shape analysis, with regional- to local- scale examples from the Kargoorlie Terrane of Western Australia. / Australian Journal of Earth sciences. № 5. 2000. P. 943-953.