

**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ  
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ДЕГДЕКАН-  
АРГА-ЮРЯХСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)**

*И.С. Голубенко*

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН,  
ул. Портовая 16, г. Магадан, 685000, e-mail: golubenko@neisri.ru*

Поступила в редакцию 2 апреля 2009 г.

Предпринята попытка использования ГИС-технологий для разработки методики прогнозной оценки металлоносности локальной территории на основе методов математической статистики. В качестве объекта исследований был выбран Дегдекан-Арга-Юряхский рудно-россыпной узел (Магаданская область), на территорию которого была сформирована пространственная база данных по геологии и полезным ископаемым. Использование методов пространственно-статистического анализа разнородной картографо-геологической информации позволило на количественном уровне оценить пространственное размещение геологических объектов и золотой минерализации на территории узла. В результате выполнен пространственный анализ условий локализации золотых месторождений и установлена их связь с геологическими характеристиками. На основе выявленных геологических признаков, благоприятных для локализации оруденения, выделены две перспективные для поиска промышленного оруденения площади. Проведенная работа показала достаточную эффективность используемых методов в крупномасштабных металлогенических исследованиях (на уровне рудных узлов).

**Ключевые слова:** пространственный анализ, ГИС по геологии и полезным ископаемым, ГИС-технологии, Северо-Восток России.

**ВВЕДЕНИЕ**

Выявление пространственных закономерностей геологического строения и условий локализации оруденения золотоносных территорий и связи их свойств, в частности, обуславливающих наличие полезных ископаемых, – актуальная проблема современной фундаментальной и прикладной науки. Путь, позволяющий подойти к решению задач металлогении на новом концептуальном уровне, включает этапы создания геопро пространственных баз данных, анализа их функциональной зависимости до оценочных и прогнозных расчетов в целях получения новых достоверных знаний о процессах и явлениях и их практического использования.

Количественная металлогения долгие годы развивалась безотносительно к ГИС, которые появились в современном их понимании значительно позже, поскольку накопленные базы данных всегда можно было обрабатывать с помощью известных методов многомерной статистики с визуализацией полученных результатов в примитивной квазикартографичес-

кой форме. Уже в 60–70-х гг. прошлого века складывались основы интегрированных технологий обработки геологических данных, целью которых являлось прогнозирование месторождений.

Следует отметить работы А.П. Куклина [10–14], в которых предугаданы многие современные способы обработки картографической информации. В общих чертах была предложена методика анализа: геологическую карту разбивали на элементарные квадраты, размер которых выбирали в зависимости от “четкости изображения”, геологические данные каждого квадратика кодировали, преобразуя анализируемую карту в “знаковую модель”, с последующей компьютерной обработкой. Таким образом автору представлялся первичный этап обработки геологических данных, целью которого являлось прогнозирование месторождений.

Примером металлогенического районирования на основе ГИС-технологий являются работы якутских исследователей (Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН), основная цель кото-

рых – прогнозирование благороднометалльных рудных узлов на территории Западного Верхоянья (Восточная Якутия). Выделяемые типовые представители рудных формаций описываются как эталоны, характеристика которых закладывается в алгоритмы металлогенического анализа. Совмещение карт плотности распределения рудных месторождений и магнитных полей позволило средствами ГИС-технологий выделить перспективные площади на обнаружение новых рудных узлов с благороднометалльной минерализацией [9].

Методика прогнозирования оруденения с использованием ГИС-технологий применена австралийскими исследователями для золоторудного месторождения Калгурли. 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 [23].

Исследователями французской геологической службы (BRGM) созданы металлогенические ГИС регионального и континентального масштабов для прогноза богатых золотом эпитермальных и порфировых систем на территорию Центральных Анд. Целью реализации ГИС являлось создание интегрированного инструмента для определения локализации рудных месторождений [21, 22].

Таким образом, специфика нового этапа заключается в эффективном использовании всех возможностей ГИС, облегчающих исследования, но главное – в генерировании новых идей обработки информации, соответствующих этим возможностям.

На примере ГИС по геологии и полезным ископаемым Дегдекан-Арга-Юряхского рудно-россыпного узла автор выполнил работу, в которой предложил один из подходов к интегрированию ГИС-технологий и методов математической статистики для анализа разнородной геолого-картографической информации. Целью работы являлся прогноз оруденения локальной золотоносной территории, вследствие чего возникали задачи обеспечения этого прогноза, а именно пространственный анализ геологического строения для формирования набора признаков и выявления с их помощью характерных особенностей локализации оруденения.

Данная работа продолжает исследования, направленные на решение металлогенических задач при прогнозе рудоносности, которые проводятся в лаборатории геоинформационных и компьютерных технологий СВКНИИ ДВО РАН начиная с 2001 г. [2, 3].

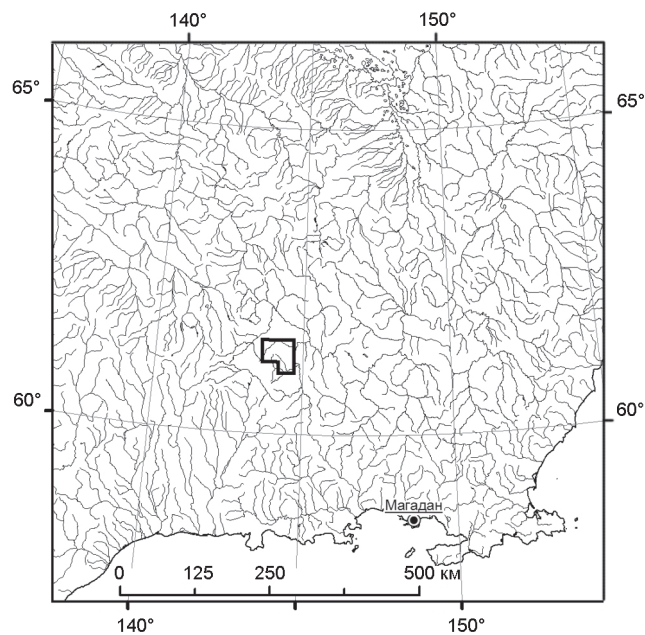


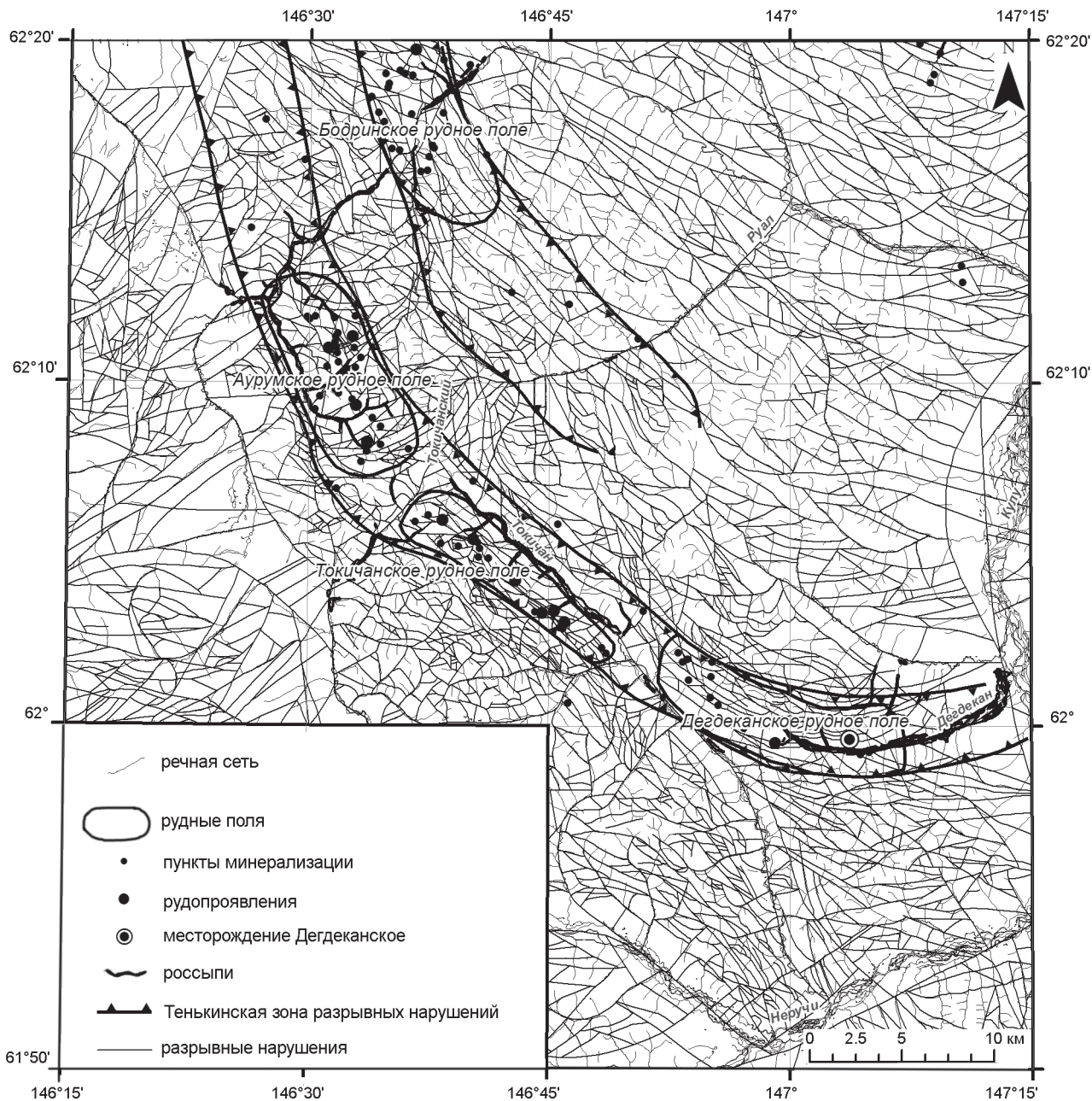
Рис. 1. Региональное положение Дегдекан-Арга-Юряхского рудно-россыпного узла.

#### РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ

Район исследований расположен на Северо-Востоке России и административно принадлежит Магаданской области (рис. 1). Дегдекан-Арга-Юряхский рудно-россыпной узел входит в состав Тенькинской металлогенической зоны северо-западной ориентировки, расположен в юго-восточной части Яно-Колымского металлогенического пояса. Геологическая позиция узла определяется приуроченностью его к зоне Тенькинского глубинного разлома и обусловлена геодинамической обстановкой коллизийного этапа развития Яно-Колымской складчатой системы.

Многочисленные золото-кварцевые жильные коренные месторождения, рудопроявления и связанные с ними россыпи золота в Яно-Колымском металлогеническом поясе служат объектами основной золотодобычи на Северо-Востоке России. Наиболее важные месторождения золота юго-восточного фланга металлогенического пояса – Наталка, Игуменовское, Родионовское, Ветренское, Утинское и т. д. К перспективным месторождениям пояса относится также золоторудное месторождение Дегдеканское, входящее в состав Дегдекан-Арга-Юряхского рудно-россыпного узла [4].

Дегдекан-Арга-Юряхский рудно-россыпной узел расположен на северо-западном фланге Аян-Юряхского антиклинория, одной из крупнейших складчатых структур Яно-Колымской складчатой системы. В его геологическом строении участвуют



**Рис. 2.** Местоположение рудных полей в структуре Дегдекан-Арга-Юряхского рудно-россыпного узла (Карта закономерностей размещения полезных ископаемых. Карелин и др., 1990 г.).

мощные пермские морские терригенные осадки. Складчатые структуры (с размахом крыльев до 40 км) в антиклинории представлены простыми, отчетливо диагональными складками. Основная масса золоторудных объектов антиклинория концентрируется по его ограничениям, укладываясь в четкую линию северо-западного простирания, по которой фиксируется крупный разлом [19, 20]. Эта зона разрывных нарушений является контролирующей золотое оруденение, в том числе месторождение Дегдекан-

ское. Структурная интерпретация Тенькинского разлома остается неоднозначной до настоящего времени. Всего на территории узла разведано одно коренное месторождение, 12 рудопроявлений, ряд пунктов минерализации, относящихся к золото-кварцевой формации, и 42 россыпи золота. Россыпные месторождения, за исключением россыпи по руч. Дегдекан, отработаны. В пределах площади узла выделяются четыре рудных поля: Дегдеканское, Токичанское, Аурумское и Бодринское (рис. 2).

Выбор района исследований обусловлен рядом важных, характеризующих его признаков: хорошей геологической изученностью; характерными геолого-структурными особенностями территории; многочисленными рассредоточенными рудными и россыпными проявлениями, в том числе пунктами минерализации, включающими одно из перспективных золоторудных месторождений – Дегдеканское, в пределах которого развернуты поиски промышленного вкрапленного оруденения как потенциального крупнообъемного месторождения, локализованного в черносланцевых толщах [17].

Изучение исходных материалов и опубликованных литературных данных позволило обозначить характерные особенности геологического строения и условий локализации золоторудной минерализации исследуемой территории узла для последующего уточнения.

#### ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА АНАЛИЗА

Для организации компьютерного хранения пространственной информации была сформирована геобаза данных по геологии и полезным ископаемым Дегдекан-Арга-Юряхского рудно-россыпного узла. Она послужила основой созданной одноименной ГИС, ориентированной на выработку методик прогноза оруденения локальной золотоносной территории.

Основой информационного обеспечения ГИС являлись геологические карты и отчеты:

1. Государственная геологическая карта масштаба 1:200 000 (листы Р-55-ХV, -ХVI, -ХХI, -ХХII) [17];

2. Материалы о групповой геологической съемке и доизучении площадей масштаба 1:50 000 с общими поисками в пределах Арга-Юряхского рудного узла (Карелин и др., 1990 г.):

Геологическая карта (арга-юряхская группа листов Р-55-65-Б, -Г; Р-55-66-А, -Б, -В, -Г; Р-55-67-А, -В; Р-55-78-Б; Р-55-79-А);

Карта закономерностей размещения полезных ископаемых (арга-юряхская группа листов Р-55-65-Б, -Г; Р-55-66-А, -Б, -В, -Г; Р-55-67-А, -В; Р-55-78-Б; Р-55-79-А);

Отчет о групповой геологической съемке и доизучении площадей с общими поисками в пределах Арга-Юряхского рудного узла в 4 кн.: Кн. 1. Кн. 2. Полезные ископаемые;

3. Карта золотоносности масштаба 1:100 000. Кулино-Тенькинская группа листов (листы Р-55-65, -66, -67, -78, -79) (Булгаков и др., 1987 г.);

4. Кадастр россыпных месторождений Охотско-Колымского региона на 1999 г. [1].

При анализе и оценке различных типов источников как основы информационного обеспечения ГИС учитывались их общие свойства: пространственный охват, масштаб, разрешение, качество, актуальность, доступность [7].

Вся оцифрованная картографическая информация сгруппирована в три тематических блока: география, геология и полезные ископаемые, которые в свою очередь представлены 16 тематическими слоями и насчитывают: 5 613 полигональных объектов, 13 423 линейных объекта и 891 точечный объект.

**Тематический блок “География”** (м-б 1:50 000, 1:200 000)

- Слой “Речная сеть”
- Слой “Горизонтали”
- Слой “Высотные отметки”

Этот тематический блок является базовой географической основой для всех пространственных данных ГИС.

**Тематический блок “Геология”** (м-б 1:50 000)

- Слой “Стратиграфические подразделения”
- Слой “Интрузивные образования”
- Слой “Четвертичные отложения”
- Слой “Маркирующие пласты”
- Слой “Разрывные нарушения”
- Слой “Дайки”
- Слой “Жилы, зоны прожилкования”
- Слой “Гидротермальные образования”

**Тематический блок “Полезные ископаемые”** (м-б 1:50 000, 1:100 000)

- Слой “Россыпи”
- Слой “Месторождения, рудопроявления и пункты минерализации”

Слои включают в себя пространственную информацию и атрибутивные таблицы с их описанием.

Для выполнения пространственного анализа особенностей размещения золотоносности в пределах исследуемой территории были использованы данные по уже добытому из россыпей золоту и данные по разведке и эксплуатации коренных месторождений, проявлений и пунктов минерализации золота, известных на площади узла. Учет количества добытого из россыпей золота проводился путем присвоения значения точке, соответствующей началу россыпи или, в случае большой протяженности, началу обогащенных блоков, составляющих единое тело россыпи. Для расчета количества золота в рудных месторождениях, рудопроявлениях и пунктах минерализации были приняты средние параметры рудных тел: мощность, протяженность, содержание золота, коэффициент рудоносности, плотность. Для объек-

тов, состоящих из нескольких тел, расчет проводился по каждому телу отдельно.

Ввод, организация, компиляция, хранение и редактирование картографической и атрибутивной информации осуществлялись средствами ГИС с использованием пакетов программ ArcGIS (ESRI) и ERDAS IMAGINE (Leica Geosystems).

Для проведения пространственного анализа условий локализации золотых месторождений и выявления их связи с геологическими характеристиками выбран метод ячейки на основе грид-структуры, где каждая ячейка выступает как однородный элементарный выдел, позволяющий строить информационные геологические модели, в рамках которых можно установить зависимость исследуемого параметра от характеристик геологической среды. Грид-структура, представленная шестиугольниками, полностью покрывает поверхность земли сетью триангуляции. Важно то, что такая схема триангуляции соответствует прямоугольной сетке естественных параллелей и меридианов [8]. Выбор размера элементарной ячейки определяется целью исследований, масштабом исходной информации и методом анализа. Исходные геологические данные\* являются таксономическими единицами локального значения и, таким образом, определяют возможный минимальный размер элементарной ячейки, который принят 2 км.

При построении модели исследуемую территорию разделяют на равновеликие элементарные площади, центру которых присваивают интегральную геологическую характеристику рассматриваемой площади. В результате анализа мы имеем регулярную сеть точек, несущих информацию о пространственном распределении геологических характеристик и минерализации территории в числовом выражении. Объектами пространственного анализа в рассматриваемом случае являются точки с вычисленными показателями, характеризующими геологические признаки (тектонические нарушения, стратиграфические, магматические и гидротермальные образования, рудную и россыпную золотоносность).

В качестве вычисляемых показателей используются такие характеристики, как:

*сложность геологического строения* – количество выходов на поверхность стратиграфических и интрузивных образований;

*суммарная длина* тектонических нарушений;

*количество* тектонических нарушений, магматических и гидротермальных образований;

*направление* тектонических нарушений, магматических и гидротермальных образований;

*экстенсивность минерализации* рудных и россыпных проявлений;

*плотность минерализации* рудных и россыпных проявлений.

Технология расчета показателей методом ячейки в ГИС сводится к следующим операциям:

- созданию нового полигонального слоя, состоящего из равномерной сети элементарных ячеек, которые полностью перекрывают анализируемую площадь;

- проведению операции отсечения площади каждой элементарной ячейкой;

- расчету показателей внутри каждой ячейки путем последовательного перебора объектов;

- присвоению центру (точке) ячейки суммарного числового значения рассчитанных показателей для объектов, попавших в область отсечения;

- созданию нового точечного слоя с атрибутивной таблицей, которой соответствуют вычисленные значения характеристик.

Таким образом, пространственный анализ исследуемой территории заключается в разбиении карты на элементарные ячейки, вычислении геологических показателей для каждой ячейки, анализе показателей и их интерполяции, выявлении парных связей показателей, группировки ячеек по наличию минерализации, регрессионном анализе связи степени проявления минерализации с геологическими признаками и прогнозировании металлогенических показателей.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С использованием ГИС проведен анализ частоты распределения на территории узла отдельных геологических признаков, показана приуроченность золотого оруденения к отложениям атканской, омчакской и пионерской свит (табл.). В породах этих подразделений сконцентрировано подавляющее большинство всех известных проявлений золота. Так, в Дегдеканском рудном поле наибольшая концентрация золотого оруденения связана с породами пионерской свиты. Практически все остальные проявления золота связаны с отложениями атканской и омчакской свит. Атканская свита характеризуется повышенной хрупкостью и способностью образовывать трещины и кливаж, в связи с чем является проницаемой для рудных флюидов и в этом смысле более компетентна по отношению к другим породам.

\* Детальность исходной геологической информации определена масштабом картографических материалов, используемых в работе (1:50 000).

Таблица. “Насыщенность” пермских стратиграфических образований золоторудными объектами.

Свита	Площадь, км <sup>2</sup>	Количество золоторудных объектов	Площадь выходов на 1 объект, км <sup>2</sup>	Количество объектов на 1 км <sup>2</sup>
Родионовская	62.13	0	0	0
Пионерская	438.97	20	21.94	0.045
Атканская	457.17	45	10.16	0.098
Омчакская	585.64	42	13.94	0.071
Старательская	481.12	0	0	0

На территорию узла построены частотные распределения и карты\*: сложности геологического строения; плотности (разрывных нарушений, дайковых образований, жил и зон прожилкования); направлений (разрывных нарушений и дайковых образований). При анализе структурных элементов территории (разломы, дайки, жилы и зоны прожилкования) отчетливо проявилась Z-образная конфигурация смены направлений, которая отражает левосдвиговый режим горизонтальных деформаций вдоль Тенькинского глубинного разлома (рис. 3) [19].

Построение карт осуществлялось с использованием интерполяции методом локальных полиномов.

Рассчитан показатель металлогенической экстенсивности – частоты проявлений месторождений и рудопроявлений на площади при учете степени ее геологической изученности, поисковой исследованности и разведанности [16, с. 22]. Для вычисления показателя экстенсивности использованы месторождения, рудопроявления и пункты минерализации в границах площади узла (109 объектов). Плотность показателя экстенсивности фактически колеблется от 0.1 до 0.8 объекта на 1 км<sup>2</sup>. Аналогичный частотно-картографический анализ проведен для плотности минерализации. Плотность минерализации по площади узла колеблется в диапазоне 0.2–1 т/км<sup>2</sup>. Внешне очертания полей экстенсивности и плотности минерализации схожи для данной территории и протягиваются вдоль зоны Тенькинского глубинного разлома (рис. 4). Прослеживается латеральная зональность золоторудной минерализации по площади узла: увеличение показателя плотности минерализации в направлении с северо-запада на юго-восток. Более продуктивные области минерализации, локализованные на юго-востоке узла, изначально были расположены гипсометрически

выше [6]. Возможно, вследствие их размыва образовались наиболее богатые россыпи, а минерализация на северо-западе менее вскрыта процессами эрозии, что обуславливает меньшие значения показателя плотности на этом участке.

Для выявления зависимости локализации золоторудной минерализации от характеристик геологической среды и экстраполяции знаний на неисследованные площади проведен корреляционный анализ. Линейная зависимость плотности и экстенсивности минерализации от показателей геологического строения Дегдекан-Арга-Юрехского рудно-россыпного узла не превышает по абсолютному значению 0.73, т.е. находится на грани возможной функциональной зависимости.

Для обеспечения экстраполяции выявленных связей на неисследованные площади выполняется задача прогнозирования золоторудной минерализации. Выделены две группы, первая из которых характеризуется наличием металлогенического показателя (учитель), а вторая – его отсутствием. На данных первой группы проводится “обучение”, а именно рассчитывается уравнение множественной регрессии для значимых показателей. Первая группа включает 43 объекта регулярной сети точек с данными по минерализации, учитывающими наличие проявлений и степень изученности территории. По расчетам оказалось, что на значение экстенсивности минерализации положительно влияет показатель сложности геологического строения, количество жил и зон прожилкования, отрицательно – суммарная длина разломов (1). Для плотности минерализации сложность строения воздействует отрицательно, количество жил – положительно; влияние длины разломов незначительно (2). Коэффициент множественной корреляции – не выше 0.73, коэффициент детерминации – 0.4.

Уравнение прогнозной модели экстенсивности минерализации имеет вид:

$$Y_1 = 0.67x_1 + 0.0089x_2 - 0.000014x_3 + 0.021, \quad (1)$$

уравнение прогнозной модели плотности минерализации имеет вид:

$$Y_2 = -0.14x_1 + 0.26x_2 - 0.038, \quad (2)$$

\* С целью изучения вычисленных показателей на территорию Дегдекан-Арга-Юрехского рудно-россыпного узла построены карты изолиний, которые позволяют охарактеризовать пространственное размещение геологических и металлогенических признаков и выделить поля с аномальными значениями [16].

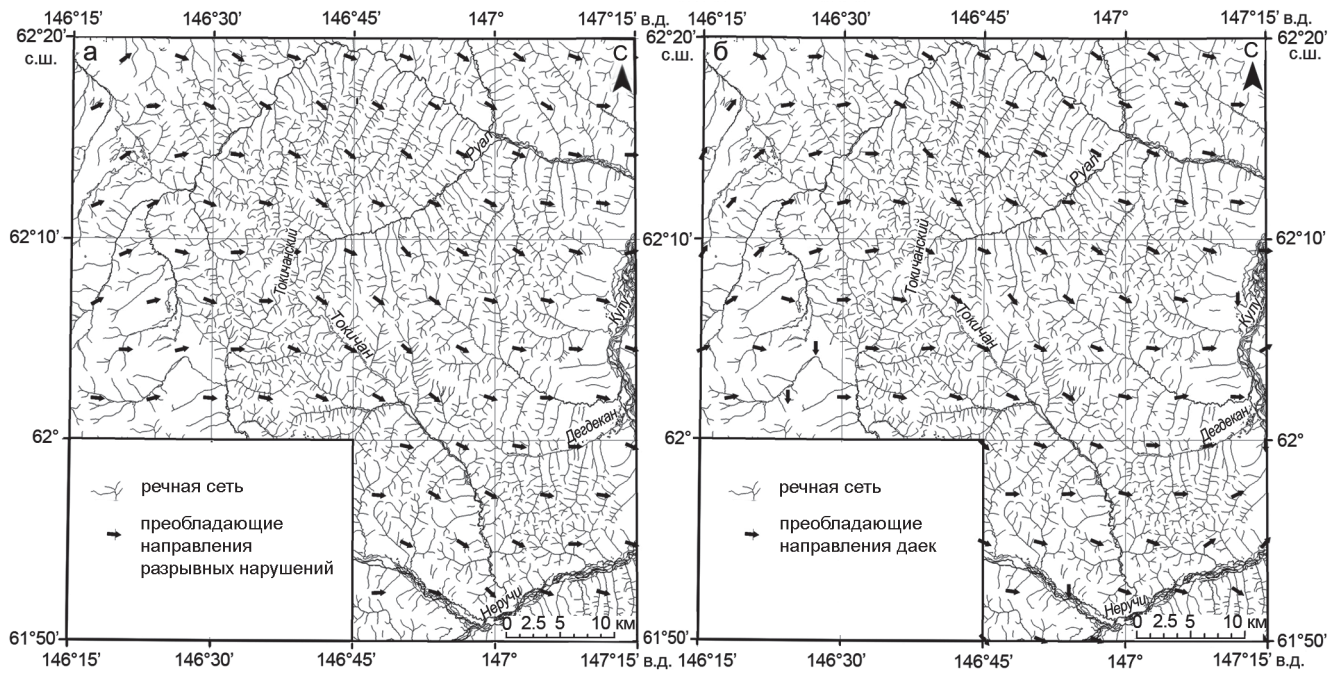


Рис. 3. Смена преобладающих направлений разрывных нарушений (а) и даек (б) на территории Дегдекан-Арга-Юряхского рудно-россыпного узла.

где  $x_1$  – показатель сложности геологического строения,  $x_2$  – количество жил и зон прожилкования,  $x_3$  – суммарная длина разломов.

Рассчитанные уравнения для выборки учителя применены к объектам второй группы для вычисления прогнозных металлогенических показателей на территорию Дегдекан-Арга-Юряхского рудно-россыпного узла, в результате построена прогнозная карта, по содержанию которой выделяются семь участков, благоприятных для локализации золоторудных проявлений (в том числе с уже известной минерализацией). Учитывая структурную позицию узла, пространственную приуроченность золотого оруденения к зоне глубинного разлома, а также полученные результаты статистических расчетов золотоносности, наиболее перспективными для поиска месторождений можно считать лишь два участка (участки 3 и 4). Данные площади располагаются в Токичанском рудном поле, на территории которого в настоящее время развернуты поисковые работы (рис. 5).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интегрирование методов пространственного анализа, распознавания образов и множественного регрессионного анализа с использованием ГИС-технологий позволило на количественном уровне оценить пространственное размещение геологических объектов и золотой минерализации на территории

узла и выявить геологические признаки, благоприятные для локализации оруденения. В результате с учетом геологической изученности выделены перспективные площади для поиска промышленного оруденения. Проведенная работа показала достаточную эффективность используемых методов в крупномасштабных металлогенических исследованиях (на уровне рудных узлов).

С позиций геоинформатики обработка пространственных данных должна строиться на системном анализе, подразумевающем разнообразие выбора объектов, методов и моделей преобразования информации. К сожалению, ограничение только одной схемой возможной связи (линейной) не позволяет оценить устойчивость прогнозной модели, закономерности ее изменчивости. В работе не учтено металлогеническое значение геофизических и геохимических факторов, необходимо привлечение математических моделей и технологий для решения фундаментальных и прикладных задач геологии. Использование нечеткой логики (fuzzy logic) позволит справиться с недостаточностью набора данных для последующего автоматизированного принятия решений. Иными словами, необходимо с уровня геоинформационного анализа переходить на уровень геоинформационного моделирования и синтеза данных и знаний из различных источников.

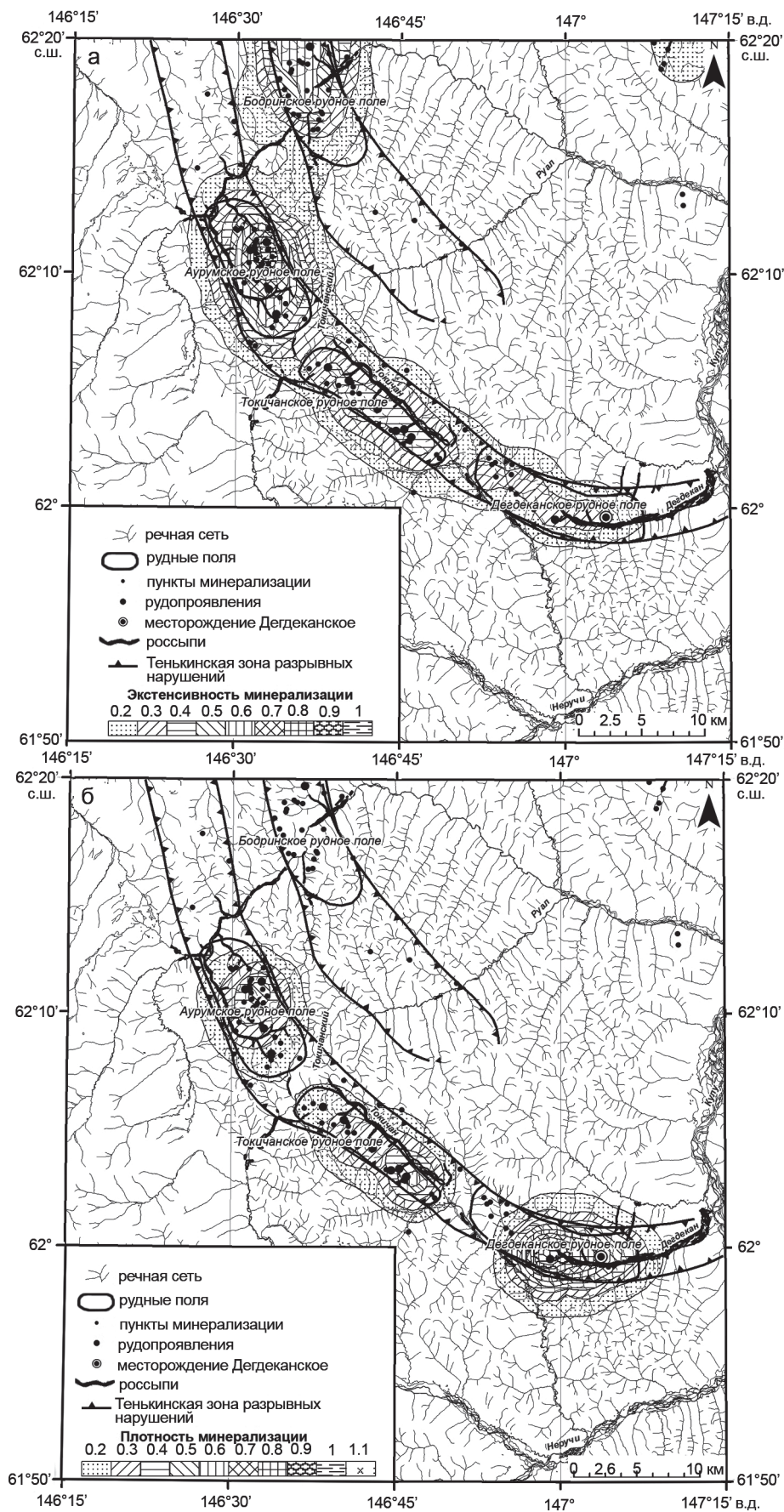


Рис. 4. Интерполированная поверхность прогнозных металлогенических показателей для Дегдекан-Арга-Юряхского рудно-россыпного узла: а – экстенсивности и б – плотности минерализации.



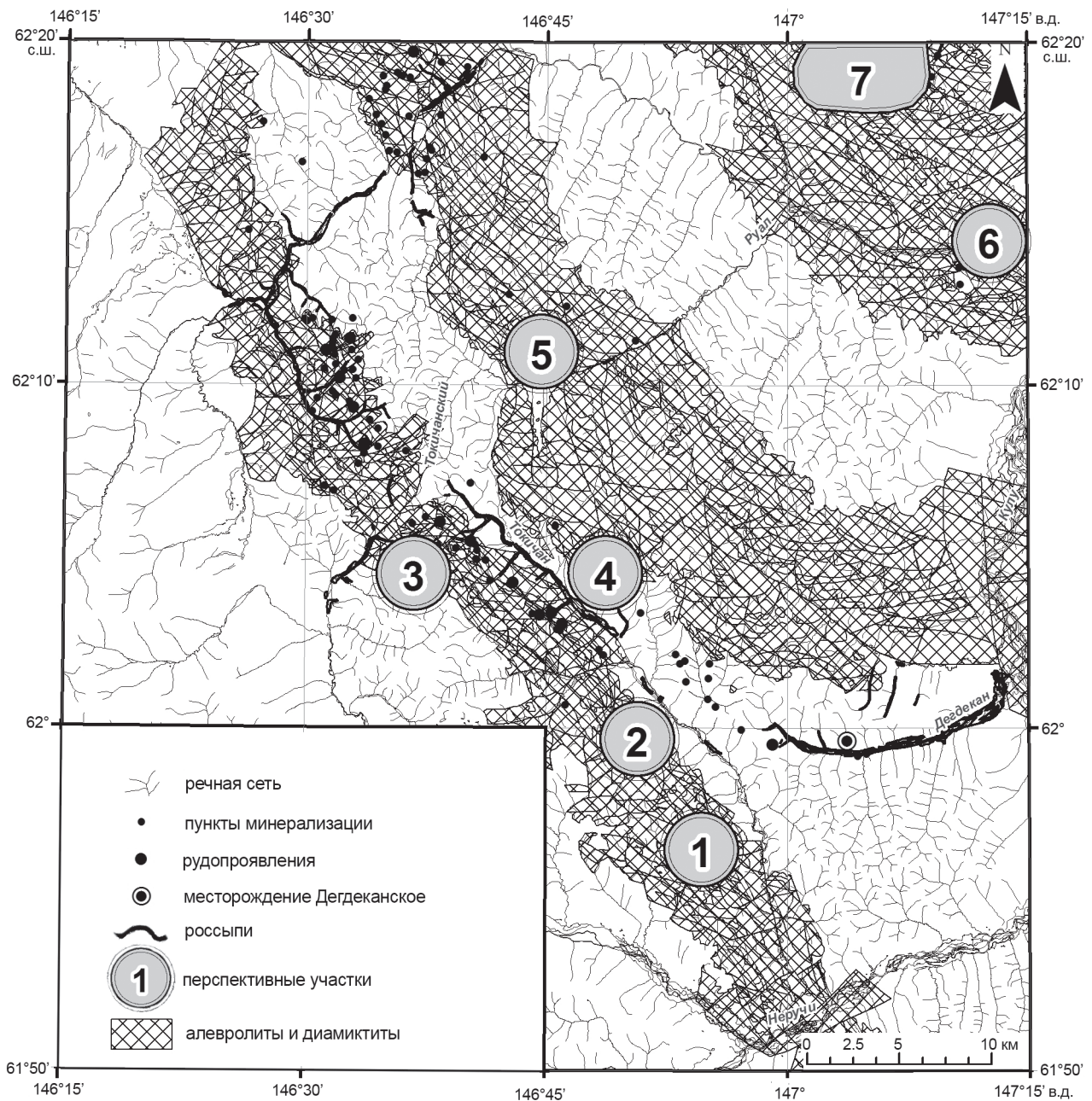


Рис. 5. Перспективные площади золотой минерализации Дегдекан-Арга-Юряхского рудно-россыпного узла.

Работа поддержана грантом губернатора Магаданской области молодым ученым на 2008 г.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вознесенский С.Д., Огородов В.А., Маннафов Н.Г. и др. Объяснительная записка к геологической карте и карте полезных ископаемых Охотско-Колымского региона м-ба 1:500 000. В 4-х кн. Магадан, 1999.
2. Ворошин С.В., Гончаров В.И., Зинкевич А.С. и др. Удельная золотоносность металлогенических провинций и гра-  
 нитоидный магматизм // Докл. РАН. 2002. Т. 387, № 6. С. 801–805.
3. Ворошин С.В., Зинкевич А.С., Тюкова Е.Э. Региональные геoinформационные системы для геологических исследований: опыт создания и анализа // Тихоокеан. геология. 2006. Т. 25, № 5. С. 22–38.
4. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. В 2-х кн. / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 2. 807 с.
5. Голубенко И.С. Количественная оценка пространственно-

- го размещения геологических объектов и золоторудной минерализации Дегдекан-Арга-Юряхского рудно-россыпного узла: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Иркутск, 2007. 22 с.
6. Зинкевич А.С., Ворошин С.В. Применение ГИС-технологий для расчета баланса рудного и россыпного золота (на примере Дегдекан-Арга-Юряхского рудно-россыпного узла, Магаданская область) // Геоинформатика. 2005. № 2. С. 12–21.
  7. Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С. Геоинформатика. Учеб. для студ. вузов. М.: Изд. центр “Академия”, 2005. 480 с.
  8. Китов А.Д., Черкашин А.К. Грид-структуры как инвариантная основа реализации геоинформационных систем // Материалы междунар. конф. “ИнтерКарто/ИнтерГИС 10: устойчивое развитие территорий: геоинформационное обеспечение и практический опыт” (12–19 июля 2004 г.). Владивосток; Чань-Чунь (КНР). 2004. С. 17–24.
  9. Костин А.В., Гольцова А.С., Лысенко М.С. и др. Прогнозирование благороднометалльных рудных узлов Западного Верхоянья (Восточная Якутия) с использованием ГИС // Тихоокеан. геология. 2006. Т. 25, № 5. С. 62–71.
  10. Куклин А.П., Якупов В.С. Математические методы в металлогении // Колыма. 1966. № 3. С. 34–37.
  11. Куклин А.П. Применение распознающих программ при металлогенических исследованиях // Колыма. 1967. № 5. С. 37–39.
  12. Куклин А.П. Метод построения геологических моделей для металлогенических исследований // Колыма. 1969. № 5. С. 34–37.
  13. Куклин А.П. Электронно-вычислительная машина “читает” геологические карты // Природа. 1972. № 2. С. 94–96.
  14. Куклин А.П., Фадеев А.П. Прогнозирование с помощью ЭВМ минеральных ресурсов Примагаданской рудной зоны // Колыма. 1980. № 5. С. 21–23.
  15. Ломтадзе В.В., Дударева О.В. Геоинформационные анализы. Учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2004. 60 с.
  16. Методическое пособие по металлогении / Под ред. Б.Н. Ерофеева и В.Т. Матвиенко. М.: Недра, 1976. 271 с.
  17. Михайлов Б.К., Буряк В.А., Михайлова В.П. и др. К проблеме выбора участков, перспективных на крупнообъемное золотое оруденение в Центрально-Колымском регионе // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий. В 3-х т. Т.1. Региональная геология, петрология и геофизика. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. С. 181–184.
  18. Наталенко В.Е., Лычагин П.П. Геологическая карта СССР. 1:200 000. Лист Р-55-ХV: Объясн. зап. Магадан, 1981. 81 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. Шахтыров В.Г. Сфенохазмы в мезозоидах Северо-Востока Азии и геотектоническая позиция гранитоидного магматизма и золотого оруденения // Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики. В 2-х т. Т. 1. Геология, геохронология и геохимия. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2000. С. 68–76.
  21. Billa M., Cassard D., Lips A.L.W. et al. Predicting gold-rich epithermal and porphyry systems in the central Andes with a continental-scale metallogenic GIS // Ore Geology Reviews. 2004. V. 25. Issues 1, 2. P. 39–67.
  22. Cassard D., Billa M., Lips A.L.W. et al. An expert-guided data-driven approach and scale-related data models for multicriterion processing with GIS Andes // Inter... Conf... “GIS in geology”: Extended abstracts (Moscow, 15–19 November, 2004). M.: Vernadsky SGM RAS, 2004. P. 27–31.
  23. Gardoll S.J., Groves D.I., Knox-Robinson C.M. et al. 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. 2000. N 5. P. 943–953.

*Рекомендована к печати Н.А. Горячевым*

*I.S. Golubenko*

### **Quantitative estimation of spatial distribution of geological objects and gold mineralization in the Degdekan-Arga-Yuryakh mineral district (Russian Northeast)**

An attempt was made to use GIS technologies for development of the methods of forecast evaluation of metal presence in the local territory based on mathematical statistics. The Degdekan-Arga-Yuryakh mineral district (Magadan region) was chosen as the subject of research in whose territory spatial database of geology and minerals was established. The use of the methods of spatial and statistical analysis of diverse cartographical-geological information made it possible to quantitatively assess the spatial location of geological objects and gold mineralization in the territory of the district. As a result, spatial analysis was made of location conditions of gold deposits, and their relation to geological characteristics was recognized. Based on the revealed geological features, favorable for location of mineralization, two areas were distinguished promising for commercial mineralization prospecting. The work showed sufficient effectiveness of the used methods in large-scale ore cluster-level metallogenic investigations.

**Key words:** spatial analysis, GIS in geology and mineral resources, GIS technologies, Russian Northeast.