

## О ПРОЯВЛЕНИИ СТАЦИОНАРНЫХ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В НЕКОТОРЫХ СТРУКТУРАХ ЗЕМНОЙ КОРЫ

В.И. Дубянский

*Воронежский государственный университет*

Обосновывается роль стационарных волновых полей естественного упругого поля Земли в формировании специфического структурного облика участков земной коры. Рассматриваются основные особенности структуры стационарного волнового поля локального источника. Приводятся примеры разномасштабных структур реальных геологических объектов в рудных и алмазодносных районах, подтверждающих контролируемую роль волнового процесса в их образовании.

Движение порождает звук.

*У. Кок*

Непрерывное вращение земного шара создает внутри геосфер автоколебательный процесс, в результате которого консолидированная земная кора постоянно находится в поле упругих колебаний, имеющих различные характеристики: от сверхнизкочастотных (планетарных, приливных) до сверхвысокочастотных, предположительно связанных с магнитными бурями и сейсмoeлектрическими явлениями [1, 2].

Современные волновые процессы, происходящие в недрах планеты, проявляются на ее поверхности в виде микросейсмического поля (фона, шума), которое повсеместно регистрируется при сейсмологических наблюдениях и сейсморазведочных работах. Микросейсмические колебания характеризуются широким спектром частот, занимающим диапазон от долей до первых десятков герц [3,4]. В сложной структуре спектров содержатся максимумы и минимумы энергетических составляющих наблюдаемого сейсмического фона, которые относятся к соответствующим частотным компонентам и длинам волн суммарного волнового поля.

В соответствии с общефизическим законом, взаимодействие в пространстве когерентных гармонических полей постоянной частоты приводит к возникновению поля стоячих волн (ПСВ). Особенность ПСВ заключается в том, что в зоне интерференции гармонических волн образуются узлы и пучности, характеризующиеся постоянством в пространстве и времени. В узлах происходит взаимное погашение упругих колебаний, в то время как в пучностях среда колеблется попеременно во взаимно противоположных направлениях с частотой равной половине частоты взаимодействующих волн [5, 6].

Наиболее общим вариантом формирования ПСВ является взаимодействие исходной волны и ее отраженной части от какой-либо поверхности. На рис. 1А представлена схематическая фазовая модель вертикального сечения поля стоячих волн, образованного в результате интерференции гармонического излучения некоего локального источника S и отраженной волны от поверхности X. Фазовые траектории пучностей дис-

кретизированы на ромбовидные фракталы, вершины которых соответствуют узлам ПСВ. Пучности аппроксимируются гиперболой (сплошные линии) и ортогональными им эллипсами (штрих-пунктирные линии). В трехмерном объеме среды стоячие волны образуют стабилизированные в пространстве и времени ансамбли вложенных гиперболоидов и эллипсоидов вращения. Жирными линиями обозначены границы первой зоны Френеля, где выше и ниже источника сосредоточена максимальная энергия стационарного волнового поля. При удалении вправо и влево от вертикальной линии симметрии, проходящей через источник, интенсивность ПСР резко снижается, асимптотически стремясь к нулю в бесконечности [5]. На оси X радиусы R первой и следующих зон Френеля представляют собой малые полуоси эллипсов, фокусами которых являются реальный и мнимый источники отраженной волны. Глубина погружения реального источника H может быть найдена из уравнения эллипса:

$H^2 = (H + n\lambda)^2 - R^2$ , откуда находим  $H = (R^2 - n^2\lambda^2)/2\lambda$ .  
Здесь  $(H + n\lambda)$  – большая полуось эллипса, n – номер зоны Френеля,  $\lambda$  – длина волны.

На рис. 1Б демонстрируется фотография ультразвукового акустического СВП, полученного в лаборатории сейсмической голографии УкрНИГРИ (1976 г.) от локального источника в плоскости, ортогональной распространению волн. Изображение представляет собой распределение волновых сгустков по concentрическим окружностям. Центральное пятно соответствует первой зоне Френеля. Радиальные линии нанесены на фотографию, для обозначения положения узлов СВП. Приведенный пример воспроизводит структуру волнового поля, которая должна наблюдаться на дневной поверхности, при наличии на глубине локального источника гармонических волн.

В наклонных к горизонтали плоскостях сечения, рассматриваемое волновое поле распределится по concentрическим эллипсоидам.

Роль локального источника в земной коре может играть область фокусировки упругих волн, прошедших сквозь

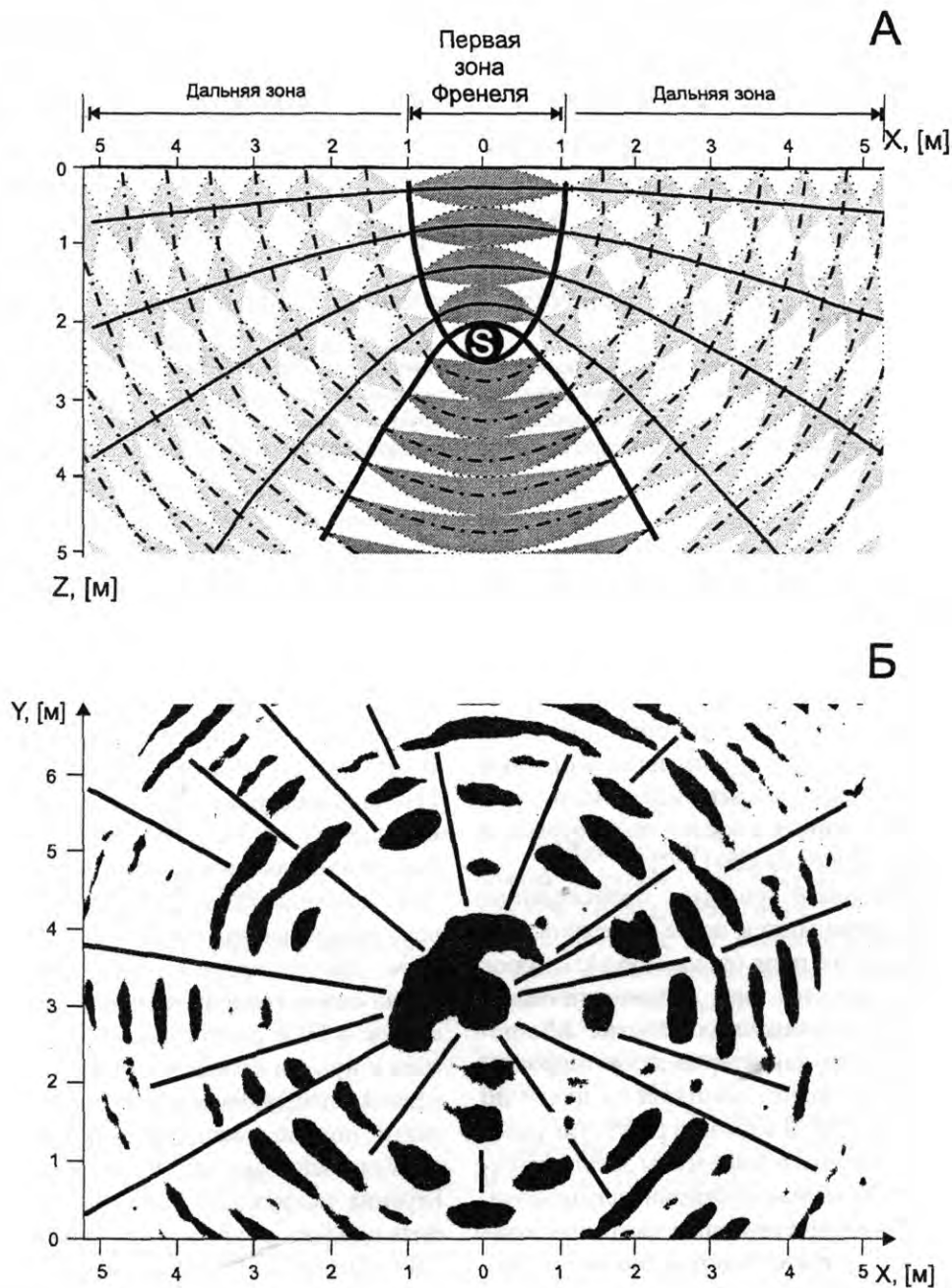


Рис. 1. А – Кинематическая схема стоячего волнового поля от локального источника в разрезе. Выделены фазовые поверхности пучностей. Б – Фотография (негатив) реального акустического поля локального источника в плане (Укр. НИГРИ, 1976 г.):

*Лучевые линии нанесены на фотографию автором статьи*

линзовидное включение или выпуклые (вогнутые) формы контактов слоев и блоков пород с контрастными физическими свойствами. Характер СВП в этом случае не будет принципиально отличаться от рассмотренного выше.

Естественное акустическое поле Земли подвергается различного вида трансформациям на физических неоднородностях геологической среды, в результате чего образуются вторичные источники когерентных (моночастотных) или близких к ним волн. При этом действуют физические законы резонанса, дифракции и фокусировки, в том числе в область каустик упругого поля в неоднородных средах [7].

Отличительными особенностями вторичных источников от источников эмиссионного типа (гидротермальных, магматических, тектонических и др.) явля-

ются: их чисто волновое происхождение, способность генерировать когерентные гармонические колебания в широком диапазоне частот и пространственно-временная стабильность. Перечисленные качества способствуют образованию СВП в определенных объемах и участках земной коры.

Взаимодействие стационарного волнового поля и вмещающей его геологической среды происходит, на наш взгляд, следующим образом.

В ближнем к источнику объеме, включающем первую и прилегающие зоны Френеля (рис. 1А), образуются области напряжения и разгрузки в виде вложенных эллипсоидов и опрокинутых вниз гиперболоидов, напоминающих в целом песочные часы. За счет высокой энергетики СВП в этих зонах происходит су-

шествное ослабление связности вмещающих пород, растрескивание, брекчирование и другие проявления трещинных дислокаций. Создаются условия повышенной проницаемости для потоков вещества (расплавов, гидротерм, газовых струй), формирования руд и кимберлитовых трубок. Каркасная волновая структура насыщается геологическим веществом и тем самым проявляется в объеме и на поверхности среды.

Подробное описание и исследование структур рудных полей и месторождений на основе волнового механизма их происхождения приводятся в работах В.В. Богацкого (1986 г.) на примерах месторождений Норильского (рис. 2), Печенгского и Забайкальского районов, магнетитовых руд Сибирской платформы, трещинно-брекчиевых структур Дальнего Востока и Кураминского хребта (Узбекистан). Отмечена удивительно устойчивая общность волнового строения трещинно-брекчиевых ареалов, которая сохраняется как в различных геологических средах, так и в разных (по месту и времени проявления) условиях [8].

Не менее яркие примеры проявления структур волнового происхождения наблюдаются в алмазонасных провинциях Якутии и Африки.

На рис. 3А, Б приводится сейсмический разрез вдоль регионального профиля пересекающего Мирнинское кимберлитовое поле трубок [9]. Внешняя конфигурация совокупности отражающих площадок и поля изоамплитуд рассеянных волн имеют вид волновой структуры, изображенной на рис. 1А. Внутри поля отраженных и рассеянных сейсмических волн достаточно уверенно выделяются эллиптические и гиперболические элементы СВП, что свидетельствует о едином волновом механизме формирования этой структуры в объеме среды (рис. 3В, Г). Весьма вероятно, что роль локального источника СВП здесь выполняла область фокусировки восходящего волнового поля через лин-

зообразную зону разуплотнения подкорового слоя, отмечаемого по отрицательным аномалиям силы тяжести и аномальному уменьшению граничной скорости по разделу Мохоровичича [10].

Дешифрирование космических снимков среднего разрешения позволило авторам работы [11] выявить тектонические ансамбли: континентального ранга (Южно-Американско-Африканский), регионального ранга (Заирский) и районного ранга (Сурино, Калонда, Макумба) (рис. 4, 5). Все выделенные дуговые и радиальные линеаменты до деталей согласуются с поверхностной структурой СВП (рис. 1Б, рис. 5А). Геометрические размеры радиально-кольцевых образований от континентального до районного масштабов свидетельствуют о разноглубинном и, соответственно, разночастотном характере породивших их волновых полей.

Радиально-кольцевые и радиально-эллиптические структуры в плане и гиперболоидальные, цилиндрические, конические структуры в разрезе образуются в ближней зоне СВП и проявляют ее конфигурацию в виде макрогеологических и морфологических образований и объектов различного ранга. Это доказывает то, что формирование стоячих волновых полей производится в недрах планеты на длинах волн от сотен до единиц и долей километров.

Большой интерес представляет поведение СВП в дальней от источника зоне, где воздействие напряжений и разгрузки на среду осуществляется на микроэнергетическом уровне, но с пространственно-временной стабильностью в геологическом масштабе времени. Реологические свойства геологической среды при воздействии на ее локальный объем напряжениями на несколько порядков меньшими, чем предел упругости, но в течение единиц или сотен миллионов лет – невозможно экспериментально смоделировать. Однако допустимо предположение, что в зонах растяжения

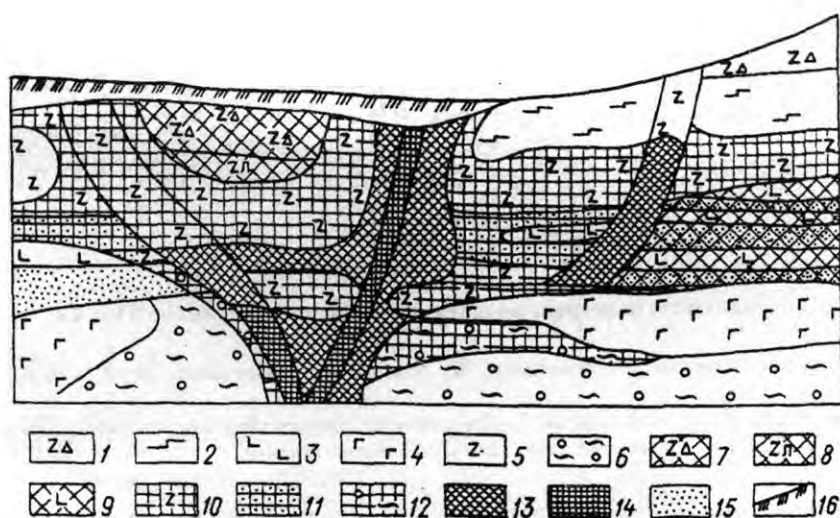


Рис. 2. Инженерно-геологическая модель Талнахского месторождения (по В.В. Богацкому, 1986 г.). Структурный облик месторождения воспроизводит верхнюю часть ближней зоны СВП (см. рис. 1А):

Слаботрещиноватые ( $K < 3\%$ ) породы: 1-4 – основные интрузивные; 5 – песчано-глинистые, 6 – глинистые и гипсоносные; 7-9 – основные интрузивные породы повышенной трещиноватости ( $K = 3-4\%$ ); сильно трещиноватые ( $K$  – до  $6\%$ ) породы: 10 – основные интрузивные, 11 – песчано-глинистые, 12 – глинистые и гипсоносные; 13 – зоны высокой трещиноватости ( $K$  – до  $8\%$ ); 14 – зоны дробления ( $K$  – до  $10\%$ ); 15 – песчаники; 16 – рыхлые отложения



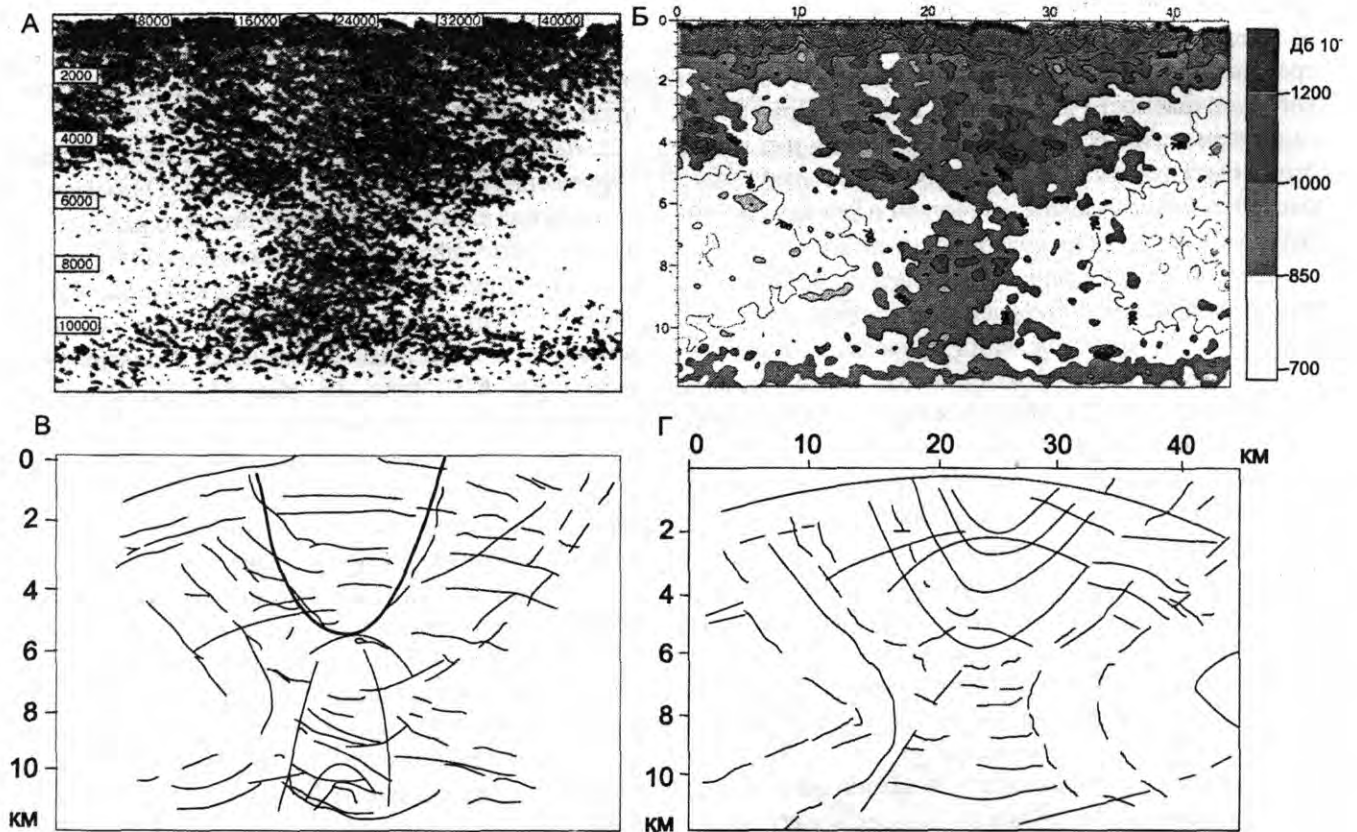


Рис. 3. Сейсмический разрез (А) и соответствующее поле изоамплитуд (Б) рассеянных волн через Мирнинское поле трубков по широтному профилю ПР-28 (по Н.А. Караеву, 2000 г.). (В) и (Г) – результаты корреляции динамических особенностей сейсмических разрезов, соответственно (А) и (Б), проявляют структуру СВП типа изображенного на рис. 1А

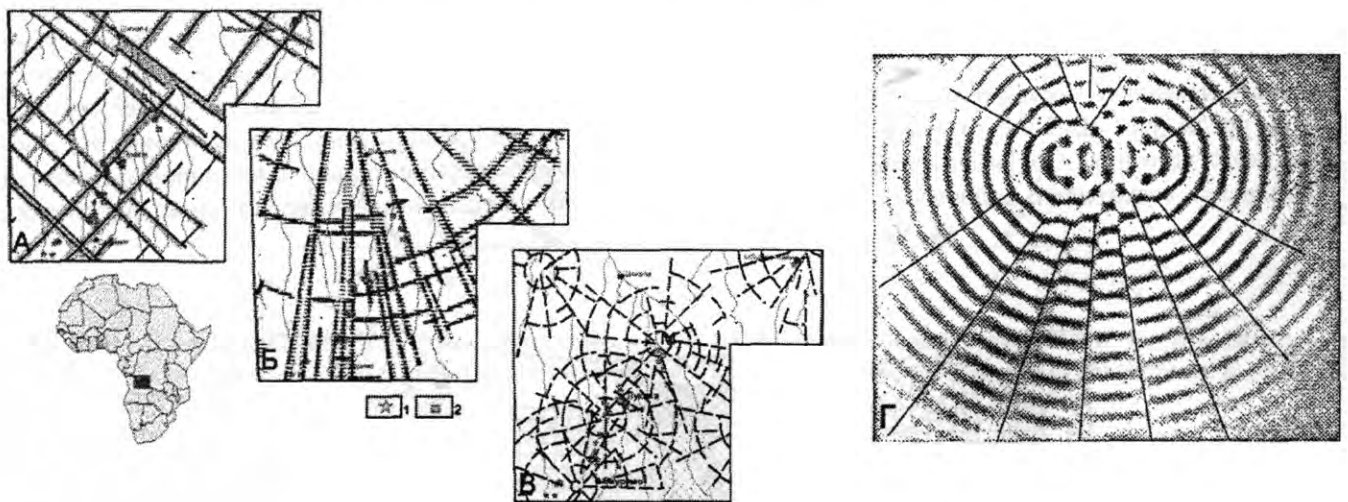


Рис. 4. Зоны линейментов, проявляющие разноранговые тектонические ансамбли (по Ю.Н. Серокурову и В.Д. Калмыкову, 2005 г.).

А – континентального ранга (Южно-Американско-Африканская); Б – регионального ранга (Заирская); В – районного ранга (С – Сауримо; К – Калонда; М – Макумба).

Известные: 1 – кимберлитовые тела; 2 – россыпи алмазов. Г – Для сравнения: фотография (негатив) интерференции волновых фронтов от двух источников (по Р.В. Полю, 1971 г.). Радиальные линии намечены автором статьи

может образовываться повышенная микропористость при воздействии напряжений на порядок меньших, чем требуется для деформации пород при сжатии [12].

Поэтому с достаточной степенью достоверности можно утверждать, что вмещающая дальнюю зону СВП геологическая среда самоорганизуется в соответствии с его структурой. Эта структура может проявляться как

непосредственно в поле микросейсм, так и, например, в повышенном содержании подвижных химических элементов и других микросвойствах среды, регулярно распределенных на ее поверхности и в объеме, на значительном удалении от ближней зоны источника.

На сегодняшний день имеются положительные результаты применения метода дистанционной геохи-

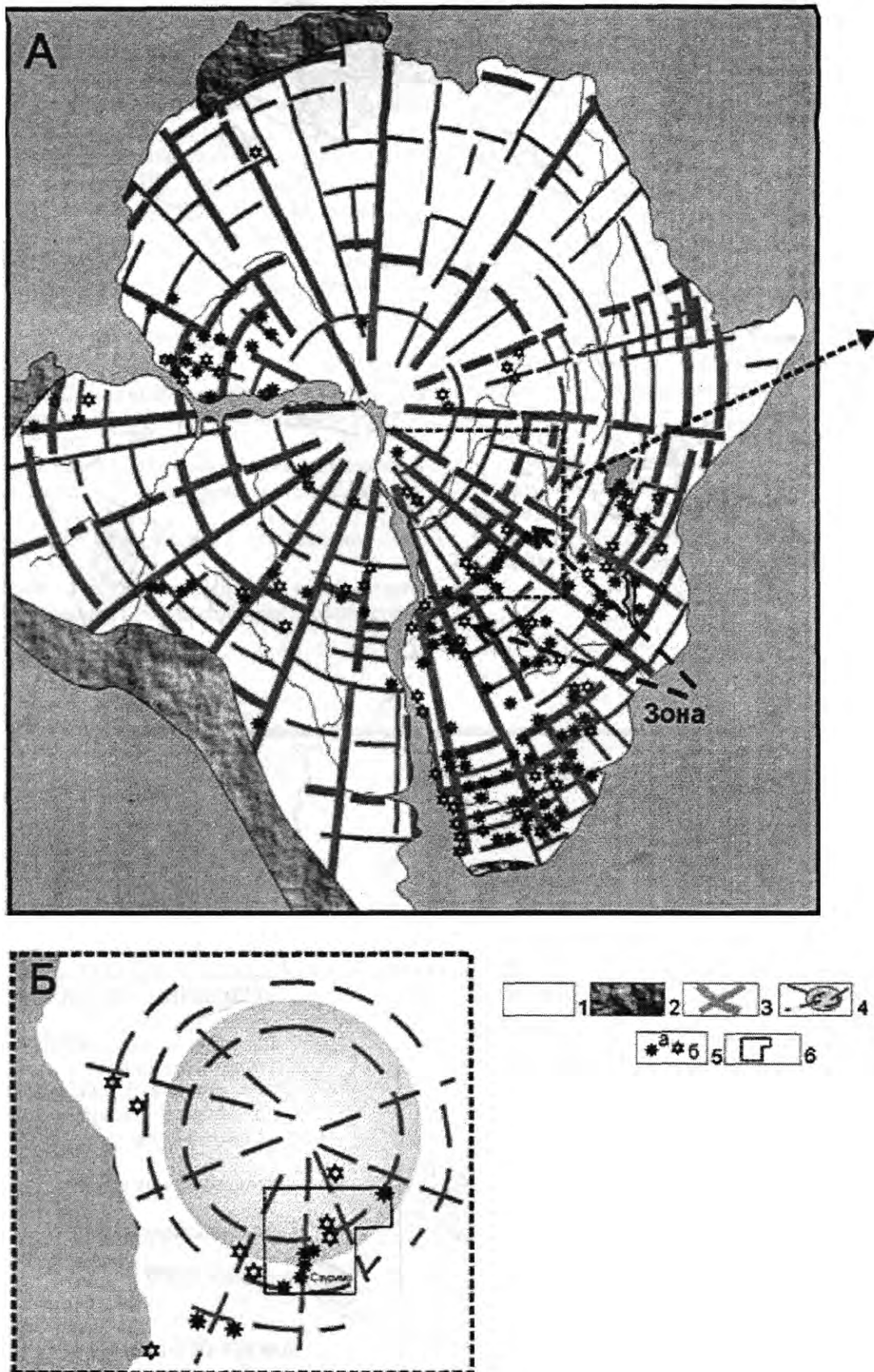


Рис. 5. Зона Лукапа (А), как фрагмент Южно-Американско-Африканской радиально-концентрической системы (по материалам интерпретации спутниковой гравиметрической съемки), и образ Заирской (Б) овоидно-радиальной структуры регионального ранга (по материалам интерпретации космических и геофизических материалов). Для сравнения см. рис. 1Б, 4Г:

1 - Бразильская и Африканская древние платформы; 2 - разновозрастные складчатые системы; 3 - структурные линии, проявляющие Южно-Американско-Африканскую систему; 4 - структурные линии, проявляющие Заирскую структуру; 5 - участки проявления кимберлитового магматизма (а) и алмазонасных россыпей (б); в - площадь анализа космических снимков среднего разрешения

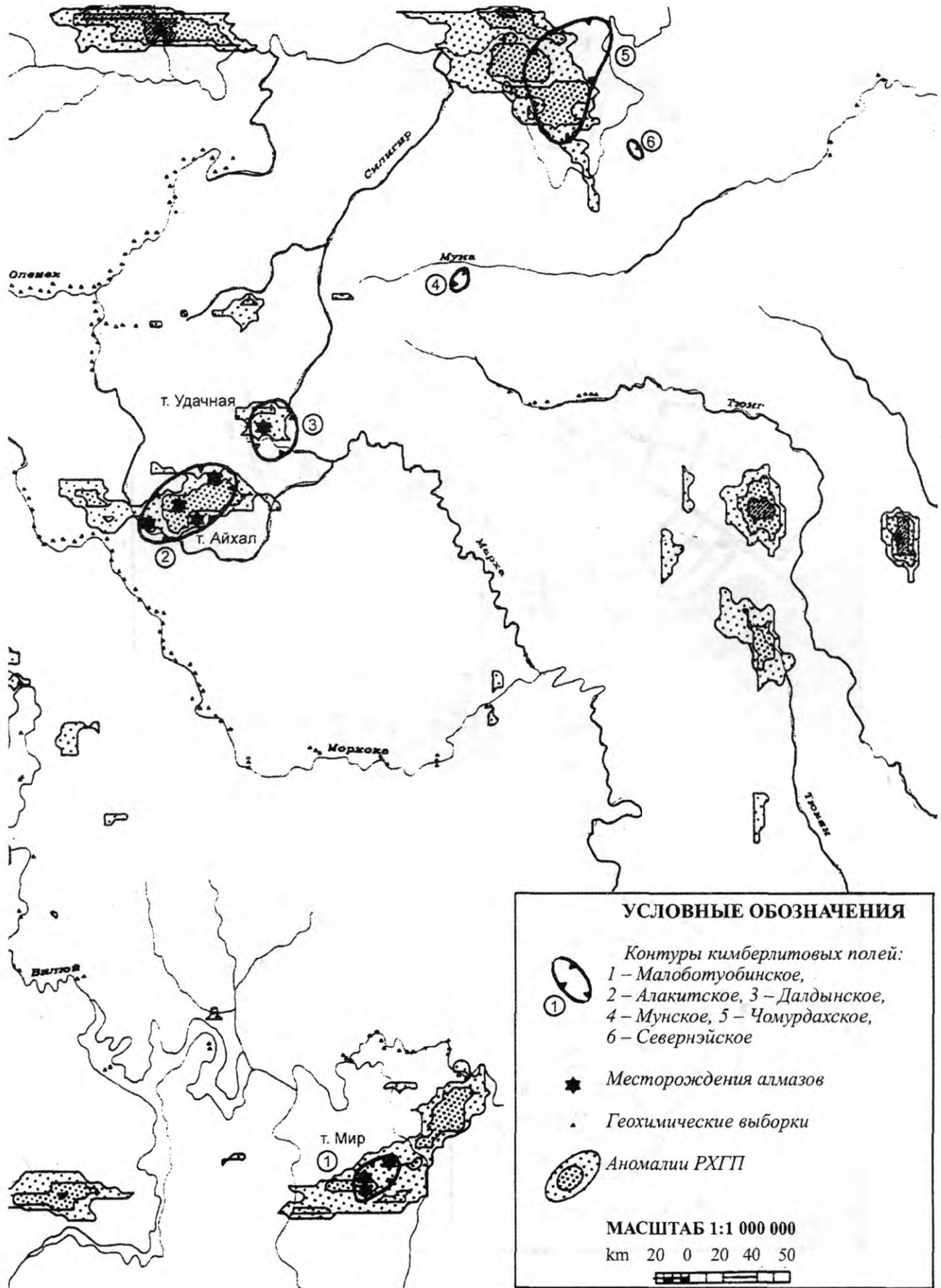


Рис. 6. Карта аномалий РХГП южной части Якутской алмазоносной провинции (Спец. КАГЭ «Аэрогеология», 1992 г.)

мии (распределенных характеристик геохимического поля – РХГП), который позволяет определять и предсказывать пространственное положение месторождений на основе данных геохимического опробования,

проведенного за десятки и сотни километров от этих месторождений (СпецКАГЭ Предприятия «Аэрогеология», 1985-1994 г.). Метод РХГП основан на волновом принципе фокусировки распределения химических

элементов из дальней зоны СВП в источник (рис. 6). Совпадение аномалий РХГП с известными месторождениями алмазов, никеля, молибдена подтверждает тезис о существовании в объеме геологической среды стационарных волновых полей и закономерной связи их ближней и дальней зон.

Поиск и картирование геологических объектов, связанных с источниками СВП, представляет практический и научный интерес. Для этих целей должны быть применены специальные измерения микросейсмического поля и обработка полученных данных методами акустической локации, голографии и томографии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов, Д.Н. Тектонические волны ротационного типа / Д.Н. Михайлов, В.Н. Николаевский // Физика Земли. – 2000. – № 3. – С. 3-10.
2. Закржевская, Н.А. О возможном влиянии магнитных бурь на сейсмичность / Н.А. Закржевская, Г.А. Соболев // Физика Земли. – № 4 – С. 3-15
3. Рыкунов, Л.Н. Микросейсмы / Л.Н. Рыкунов. – М., 1967. – 87 с.
4. Надежка, Л.И. О связи параметров сейсмического шума с геологическими и геодинамическими особенностями

Воронежского кристаллического массива / Л.И. Надежка, Р.А. Орлов, С.П. Пивоваров и др. // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. – 2003. – № 2. – С. 179-185.

5. Крауфорд, Ф. Волны. Берклевский курс физики / Ф. Крауфорд. Том 3. – М., 1976. – С. 526

6. Поль, Р.В. Механика, акустика и учение о теплоте / Р.В. Поль. – М., 1971. – 479 с.

7. Кравцов, Ю.А. Геометрическая оптика неоднородных сред / Ю.А. Кравцов, Ю.И. Орлов. – М., 1980. – 304 с.

8. Богацкий, В.В. Механизм формирования структур рудных полей / В.В. Богацкий. – М., 1986. – 89 с.

9. Караев, Н.А. Сейсмическая гетерогенность кимберлитобразующей системы / Н.А. Караев, Я.Я. Биезайс, П.А. Лебедин // Геофизика. – 2000. – № 6. – С. 17-22.

10. Гринсон, А.С. Формирование и размещение кимберлитов в восточной части Сибирской платформы в связи с особенностями ее глубинного строения / А.С. Гринсон // Изв. АН СССР. Сер. Геология. – 1984. – № 3. – С. 54-65.

11. Серокуров, Ю.Н. Структурный контроль кимберлитов в провинции Лунде-Норте (Ангола) / Ю.Н. Серокуров, В.Д. Калмыков // Геология алмазов – настоящее и будущее. – Воронеж, 2005. – С. 189-200.

12. Джекобс, Дж. Физика и геология / Дж. Джекобс, Р. Рассел, Дж. Уилсон. – М. : Мир, 1964. – 481 с.