УДК 550.831, 504.055

И.Б.МОВЧАН, *канд. геол.-минерал. наук, доцент, imovch@mail.ru,*
В.Ю.АСЯНИНА, *аспирантка, asyanina.v@yandex.ru,*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

I.B.MOVCHAN, *PhD in geol. & min. sc., associate professor, imovch@mail.ru,*
V.Y.ASYANINA, *post-graduate student, asyanina.v@yandex.ru,*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ОПЕРЕЖАЮЩИЙ ПРОГНОЗ ПЛОТНОСТНОЙ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА

Состояние верхней части разреза и находящееся в прямой зависимости от него состояние жилого фонда определяются не только геологическими и гидрогеологическими факторами, но и антропогенным воздействием, которое изменяет во времени плотностное состояние приповерхностных структурно-вещественных комплексов. Дешевым методом экспресс-оценки можно считать гравиметрическую съемку, выполняемую для описания возможной временной динамики гравитационного поля. Ее описание возможно на двух уровнях: структурном (качественном) и глубинном (количественном).

Ключевые слова: дизъюнктив, мониторинг, гравитационное поле, стационарность, изменчивость, трещина, роза-диаграмма, структурный разрез.

PRIMARY FORECAST OF DENSITY-RELATED NONSTATIONARITY OF CROSS-SECTION UPPER PART

The state of profile higher part state and the directly depended housing stock are determined by geological factors and human influence. It both define time variation of the density of surface states structural and material systems. Gravimetric survey for the gravitational field temporal dynamics is the cheap method for its rapid assessment. Its description can be done at two levels: the structural one (qualitative) and the depth (quantitative).

Key words: disjunction, monitoring, gravity field, stationarity, variability, fracture, rose-chart, structure profile.

Актуальность опережающего прогноза определяется двумя факторами. Во-первых, интенсивным развитием строительства в крупных промышленных и культурных центрах России, когда по соображениям экономической целесообразности учет инженерных аспектов, в частности состояния приповерхностных структурно-вещественных комплексов, отодвигается на второй план. Во-вторых, исследованием параметров геологической среды на начальном этапе строительных мероприятий. Геологическая среда может быть нестационарной в силу сезонных процессов протаивания и промерзания верхней части разреза, нестационарности направлений миграции грунтовых и подземных вод, давления наземных конструкций, вибрации со стороны подземного и наземного транспорта, ремонтно-строительных мероприятий, меняющих напряженное состояние пород, и пр.

Очевидна потребность в мониторинговых методах оценки (в частности, плотностной динамики геологической среды), ориентированных на доступную инструментальную базу, возможность выполнения площадных измерений, быструю обработку и интерпретацию результатов. Последний пункт

связан с разработкой формальных методов пересчета поверхностных измерений в геологическое полупространство. Кроме того, необходимо выбрать для опытных работ полигон, где выявлено большинство факторов, определяющих нестационарность геологической среды: метро, развитая сеть трещиноватости, строительство жилых кварталов, неглубоко залегающие грунтовые воды.

В качестве такого полигона рассмотрен Васильевский остров, половину которого составляет насыпная часть, примыкающая к Финскому заливу. В пределах острова ведутся строительные работы, как в его центре, на естественном грунте, за счет демонтажа старого жилого фонда, так и вдоль побережья, в насыпной части острова. В течение последнего года в пределах острова активно проводится ремонт дорожного покрытия и обновление трамвайных путей.

Геологический объем полигона иссечен системой трещин преимущественно северо-восточного простирания, из которых наиболее протяженная трещина, простирающаяся вдоль юго-восточной границы острова и ориентированная вдоль русла Невы, рассматривается нами как трещина глубинного заложения. К территории работ подходит ветка метро, проложенная под руслом Невы, субортогонально плоскости этой трещины. Материалы радоновой съемки демонстрируют приуроченный к Васильевскому острову минимум эманаций, что косвенно указывает на отсутствие естественной активизации дизъюнктивов.

Метод мониторинга представлен измерениями напряженности гравитационного поля маятниковым способом в его классической реализации*. Территория работ поделена на полигоны, к вершинам которых приурочены измерительные пикеты: при проведении эксперимента контур полигона обходился по часовой стрелке или против нее с возвращением на один из исходных пикетов для оценки «смещения нуля» под влиянием на маятник температуры и напряжений. Сеть измерений представлена 65 пикетами (рис.1, *а*), равномерно распределенными по площади полигона для достоверной оценки структуры гравитационного поля. На каждом пикете выполнялось от 3 до 5 измерений периода колебаний с последующим расчетом его средней величины и относительной погрешности, которая не превышала 10 %. Измерительные работы выполнены нами в течение весенне-осеннего сезонов.

Результаты измерений представлены тремя картами изолиний гравитационного поля, значения напряженности $g(x, y)$ которого выражены в сантиметрах в секунду в квадрате с точностью до третьего знака после запятой (рис.1). В структуре поля отчетливо выделяются четыре области: две – с повышенными значениями напряженности и две с пониженными. Зоны резкого пространственного градиента, разделяющие эти области, практически не меняют свою конфигурацию и простирание, как и особенности поля, относящиеся к области его повышенных значений и приходящиеся на часть Васильевского острова с естественным основанием.

Насыпная часть острова, маркируемая зоной пониженных значений $g(x, y)$, характеризуется заметной временной нестационарностью зафиксированных экстремумов. Наибольшая временная нестационарность в структуре измеренного гравитационного поля зафиксирована на участках, где реализуется реконструкция старого жилого фонда (в северо-восточной части острова) или строительство нового жилья (в северо-западной части полигона), а также на участках, где проходит ветка метро.

Сопоставление карт гравитационного поля (рис.1) с фрагментом карты трещиноватости отражает прямые пространственные корреляции между положением выраженных зон пространственного градиента поля и протяженными дизъюнктивами. Расчеты, как и визуальные оценки, показывают, что временная изменчивость гравитационного поля наиболее выражена в юго-восточной части Васильевского острова,

---

* *Веселов К.Е.* Абсолютные измерения силы тяжести. Гравиразведка. М., 1990.

Veselov K.E. Absolute gravity measurement. Gravity prospecting. Moscow, 1990.

что теоретически может быть связано с антропогенной активизацией подвижек вдоль плоскости трещины, простирающейся параллельно руслу Невы. На антропогенную природу активизации косвенно указывают минимум радонового фона, наличие ветки метро и интенсивные ремонтно-строительные работы. О наличии самой активизации подвижек вдоль плоскости этой трещины косвенно свидетельствуют трещины по фасаду зданий, просадки и растрескивания дорожного покрытия, значительный перекос несущих элементов зданий, наиболее выраженные в юго-восточной части Васильевского острова.

Дополнительно нами выполнена компьютерная обработка измеренного гравитационного поля, результаты которой условно разделены на первичные и детальные. Первичная обработка ориентирована на анализ структурных особенностей площадного сигнала. Здесь исключены пересчеты измеренного гравитационного поля в различные редукции (изостатические, Буге и Фая): абсолютные высоты измерительных пикетов невелики (не превышают 50 м), рельеф дневной поверхности слабо дифференцирован, площадь исследуемого полигона мала.

Основное внимание было обращено на расчет роз-диаграмм доминирующих простираний изолиний в картах гравитационного поля $g(x, y)$ и его полутоновые представления для наглядного описания временной динамики этого поля. Построения роз-диаграмм основаны на автокорреляционных функциях

$$R(\tau_x, \tau_y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} g(x, y) \cdot g(x - \tau_x, y - \tau_y) dx dy,$$

структура которых (рис.1) симметрична относительно центрального экстремума. Алгоритм выделения доминирующих простираний опирается на распознавание локальных экстремумов, симметричных относительно центрального, и оценку их размеров и удаленности от центрального экстремума.

Полутоновые представления являются аналогом фильтрации площадного сигнала по направлениям и ориентированы на подчеркивание в структуре этого сигнала протяженных элементов методом моделирования подсветки и Ламбертова рассеяния*. Протяженные элементы в структуре гравитационного поля (рис.1) подчеркиваются тенями и субортогональны направлению подсветки. Результаты первичной обработки подтверждают изменение во времени доминирующих простираний в изолиниях гравитационного поля, а также заметное изменение степени протяженности отдельных структурных элементов этого поля. Наряду с выделенными временными вариациями амплитуды напряженности гравитационного поля, эти факты косвенно свидетельствуют о наличии как вертикальных, так и горизонтальных (сдвиговых) смещений, в основном по плоскости дизъюнктивов под действием антропогенной нагрузки.

Реконструкция структурного разреза состоит в детальной обработке измеренного гравитационного поля. Основанием для этой процедуры служат два алгоритма, апробированные на некоторых геологических объектах. Первый предполагает расчет нормированного гравитационного поля в области геологического полупространства с использованием автокорреляционной функции поля и его последующего покомпонентного разделения. Второй алгоритм, предложенный А.В.Цирульским, опирается на методику аппроксимации наблюденного гравитационного поля системой подобных по природе откликов от семейства материальных стержней.

Объединение этих двух подходов и авторских усовершенствований, ориентированных на оптимизацию пересчетов, привело к созданию авторской программной разработки, результаты которой даны на рис.2. Рисунок содержит структурную реконструкцию разреза по линии профиля А-Б, отмеченного на рис.1. Изолиниями обозначено нормированное гравитационное поле, косвенно отражающее распределение плотности в геологическом полупространстве.

* *Dods S.D.* The new series of 1:1 000 000-scale magnetic anomaly maps of the Geological Survey of Canada. The Utility of Regional Gravity and Magnetic Anomaly Maps. Tulsa, 1985.

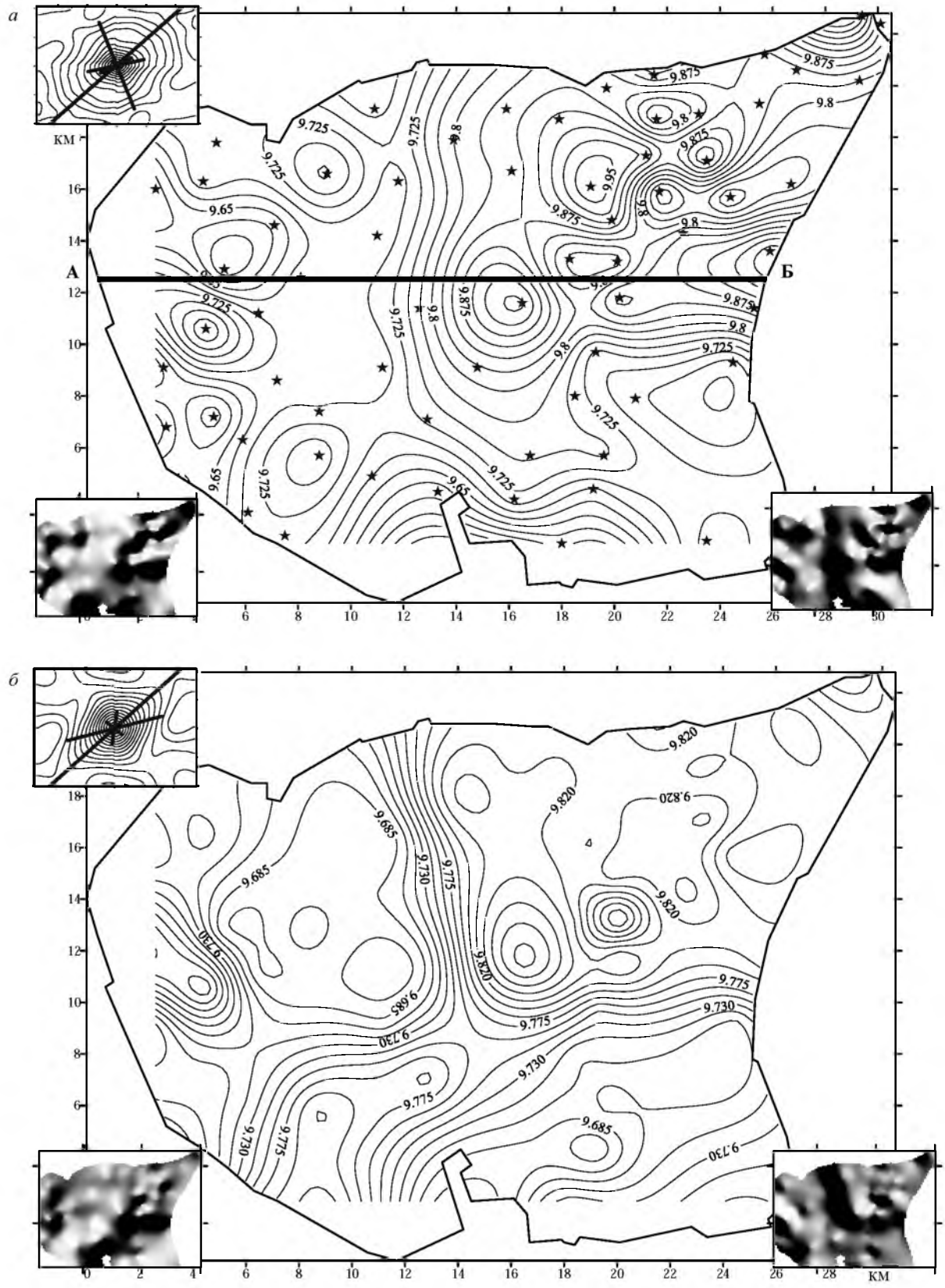


Рис.1. Первичные результаты гравитационных исследований по Васильевскому острову: *а* – в марте, *б* – в сентябре; в углах – моделирование подсветки поля $g(x, y)$ и его роза-диаграмма

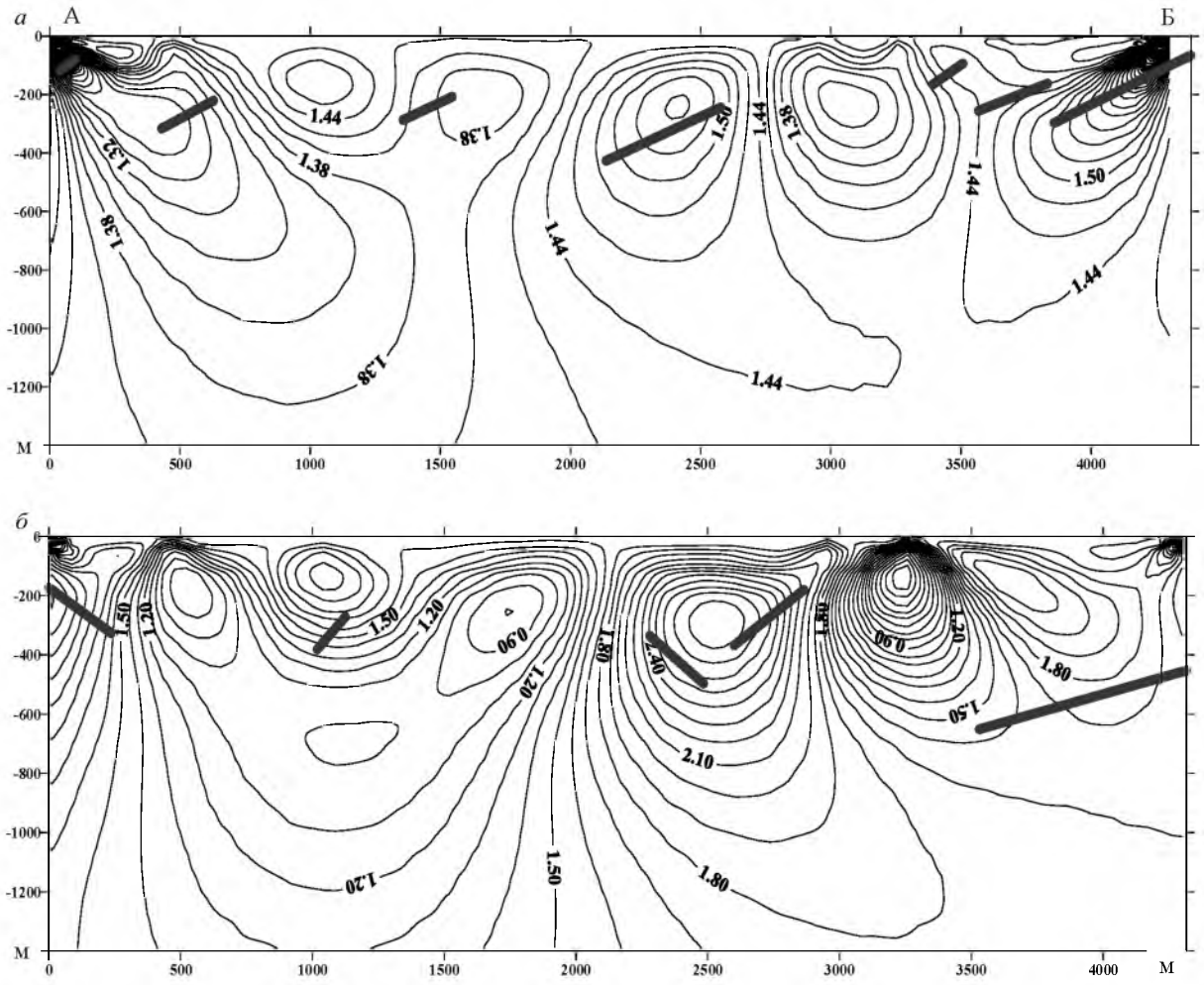


Рис.2. Формальная реконструкция структурного разреза по профилю А-Б по состоянию на март (*а*) и сентябрь (*б*). Изолиниями отмечен итог аналитического продолжения, стержнями – итог автоматизированного подбора пластовых объектов

Наложенные на изолинии жирные отрезки обозначают подобранное семейство материальных стержней. Опыт использования этих алгоритмов показывает их эффективность при реконструкции син- и антиформ, ступенеобразных структур, определении глубины залегания аномалообразующего объекта. В данной задаче рис.2 иллюстрирует наличие временной плотностной динамики в геологическом полупространстве вплоть до глубин 400-500 м. Система материальных стержней определяет приблизительную геометрию и глубину залегания подошвы этой динамической области.