

СОВМЕСТНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ АНОМАЛИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ И ЕЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ВОРОНЕЖСКОГО МАССИВА

Ю.В.Антонов, В.И.Жаворонкин, С.В.Слюсарев, О.В.Чучелова

Воронежский государственный университет

Рассмотрены результаты исследований земной коры вдоль профиля Каменка — Борисоглебск. Для выявления глубинных неоднородностей выполнено двумерное моделирование поля силы тяжести и его вертикального градиента. Результаты моделирования показывают, что земная кора вдоль профиля, особенно в верхней его части, резко дифференцирована. На глубинах до 28 км выделяются многочисленные плотностные неоднородности. На глубинах от 28 до 60 км на модели четко фиксируются три блока с различной избыточной плотностью.

При изучении плотностных неоднородностей в недрах Воронежского кристаллического массива (ВКМ) методом вертикального градиента силы тяжести выполнены измерения этого параметра гравитационного поля по профилю Каменка — Борисоглебск протяженностью около 260 км. Разработанная кафедрой геофизики Воронежского госуниверситета методика градиентометрических наблюдений [1,2] позволила получить точность измерений вдоль профиля $\pm 15E$.

Расстояние между точками наблюдений по профилю неравномерное: в начале профиля оно составляет 8 км, затем 2 км, а над крупными интрузивными массивами 1 км. Съёмка с шагом 1 — 2 км проводилась в комплексе с другими геофизическими методами (МОВ ОГТ, измерение вертикального магнитного градиента) с целью изучения глубинного строения ВКМ вдоль сейсмического профиля Владимировка — Елань — Алферовка [3]. Основные результаты этих исследований приведены на рис.1 в виде геолого-геофизического разреза. На нем по скоростным и динамическим характеристикам волнового поля выделены разломно-надвиговые зоны, на отдельных участках прослежена предполагаемая граница между архейскими и протерозойскими структурными ярусами, на качественном уровне оценен вещественный состав интрузивных массивов и т.п. Следует иметь в виду, что результаты интерпретации сейсмических материалов из-за отсутствия глубоких параметрических скважин в значительной степени неоднозначны. Повысить их достоверность, а также получить новые данные о структурно-вещественных особенностях строения различных уровней земной коры, в том числе и о субгоризонтальных границах раздела, позволяет использование данных о распределении поля силы тяжести и его вертикального градиента. Это возможно благодаря тому, что значения вертикального градиента силы тяжести являются функцией плотности [3,4], что позволяет оценить избыточную плотность неоднородностей в кристаллическом фундаменте.

Профиль Каменка — Борисоглебск пересекает основные структуры юго-востока ВКМ и частично захватывает Пачелмскую трансрегиональную зону. На всей площади исследований основные вещест-

венные комплексы имеют различные плотностные характеристики. Осредненные плотностные особенности пород верхней части разреза, вскрытой скважинами [5], приведены в виде графика на рис.1.

Кристаллический фундамент на всем протяжении профиля перекрыт мощным (до 300 м и более) осадочным чехлом мезокайнозойского возраста. Осадочные породы залегают субгоризонтально, практически немагнитны и не оказывают влияния на магнитные и гравитационные измерения в масштабе рассматриваемых исследований.

В геологическом строении докембрийского кристаллического фундамента принимают участие два основных яруса: архейский и нижнепротерозойский (рис.1). Первый сложен гранитами, гранито-гнейсами и мигматизированными гнейсами, второй — песчаниково-сланцевыми образованиями. Контакт этих пород проходит вдоль Лосевско-Мамонского разлома (ПК 68). По результатам проведенных сейсмических исследований зона разлома имеет западное падение.

Северо-восточнее Лосевско-Мамонского разлома в области развития образований воронцовской серии профиль пересекает несколько крупных интрузивных массивов: Мечетковский, Озерковский, Еланский, Бороздиновский. По данным сейсморазведки первые три уходят в виде "колонн" на глубину более 10 км и имеют четкие подводящие каналы [3].

Результаты интерпретации геофизических данных позволяют предположить, что Мечетковский массив в верхней части сложен породами основного состава, в средней — имеются включения ультраосновного состава, а глубинная часть, вероятно, сложена породами пониженной плотности.

В пределах Озерковского массива в приповерхностной части преобладают габброиды, в средней — кислые породы, а на глубине — породы ультраосновного состава.

Еланский массив имеет наиболее сложное строение с широкой гаммой развития пород гибридного состава. Основные и ультраосновные породы развиты в средней части разреза, частично встречаются в верхней части и практически отсутствуют внизу.

Бороздиновский массив имеет нижнюю кромку на глубине не более 2 км и представлен пре-

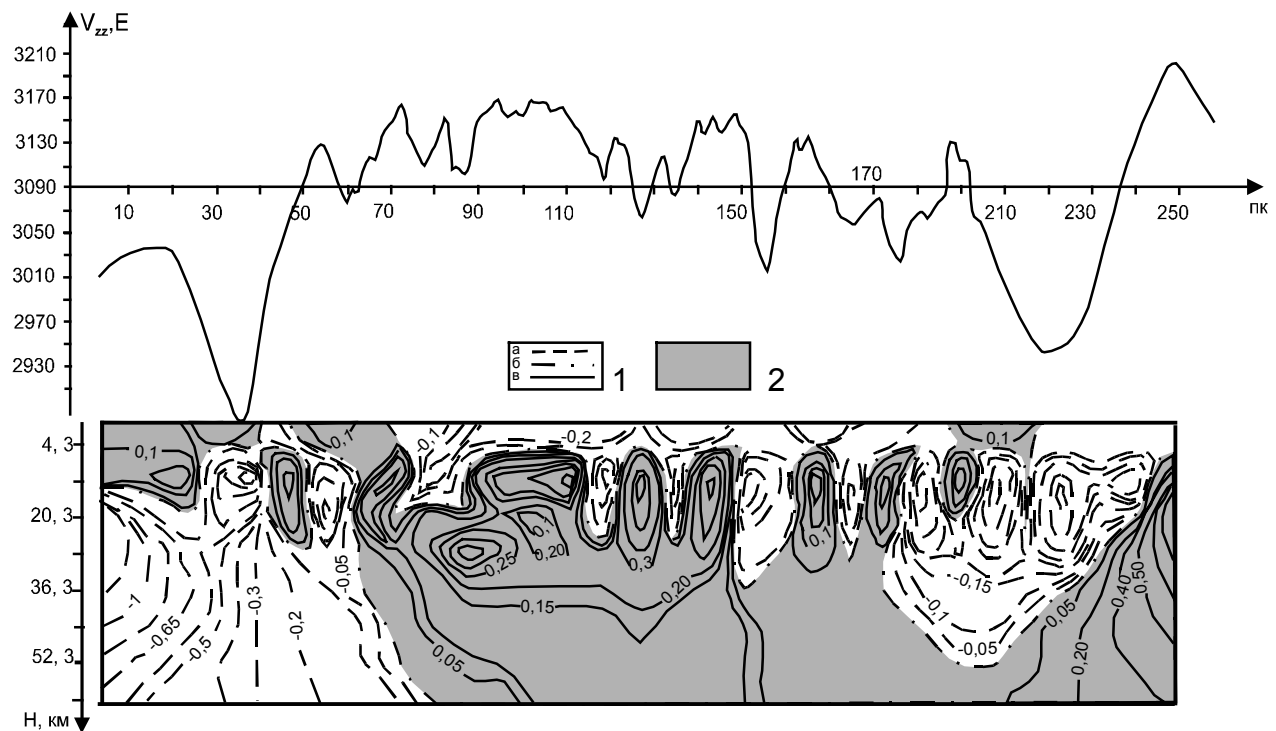


Рис.2. Плотностная модель земной коры и верхней мантии по профилю Каменка — Борисоглебск: 1 - изолинии значений избыточной плотности (g/cm^3): а) - отрицательные, б) - нулевые, в) - положительные; 2 - области положительных значений избыточной плотности.

имущественно породами основного состава. Массив в верхней своей части сильно серпентинизирован, что установлено бурением, а также подтверждается классическим сочетанием отрицательной аномалии V_{zz} и положительной аномалии Z_a [3].

Между Озерковским и Еланским массивами по геофизическим данным выделяются два крупных массива гранитоидов (ПК 117, 141), имеющих незначительную площадь выхода в срез консолидированного фундамента.

Мощность протерозойских песчаниково-сланцевых образований вдоль профиля колеблется в пределах от 4 до 8 км, резко изменяясь вдоль зон разломов. По сейсмическим данным предполагается, что массивы основного состава залегают в синклиналильных структурах, а гранитоидные – в антиклиналильных.

График вертикального градиента силы тяжести (V_{zz}) представлен на рис.1,2. В региональном плане поле градиента силы тяжести в значительной степени дифференцировано. По его уровню вдоль профиля выделяется три области, по всей видимости, соответствующие крупным блоковым структурам. В частности, в интервале ПК 1-49 фиксируется область пониженных значений градиента. Повышенные значения соответствуют интервалу ПК 50-125; а над синклиналильной зоной (ПК 126-233) вновь наблюдаются пониженные значения поля.

Достаточно четко в поле V_{zz} выделяются крупные интрузивные массивы, при этом каждый из них характеризуется своеобразным соотношением поля силы тяжести и его вертикального градиента. Мечетковскому интрузиву (ПК 72-76) соответствует

довольно широкая аномалия интенсивностью до 3160 E, в поле Δg (график приведен на рис.1) он также ярко выражен аномальными значениями. Озерковский массив (ПК 94-102) не столь четко отображен в поле вертикального градиента силы тяжести, хотя над ним наблюдается относительное повышение значений V_{zz} и интенсивная аномалия Δg . Еланский массив (ПК157-180) характеризуется чередованием пониженных и повышенных значений V_{zz} . В поле Δg ему соответствует четко выраженная интенсивная положительная аномалия. Бороздиновскому массиву (ПК185-189) отвечает ярко выраженный минимум V_{zz} . В силу своих небольших размеров он выделяется очень слабой положительной аномалией на детальных картах Δg , а в представленном масштабе практически незаметен.

Подобное сочетание аномалий Δg и V_{zz} можно трактовать следующим образом. Мечетковский массив, по крайней мере его верхняя часть, сложен плотными породами, что дает совпадение знаков аномалий. Озерковский массив также отмечается положительной аномалией Δg и сложен, видимо, породами с очень маленькой избыточной плотностью, о чем свидетельствуют близкие к нормальным значения V_{zz} над ним.

Еланский массив, по всей видимости, находится в аналогичной структурно-геологической ситуации. Аномалия поля силы тяжести интенсивностью до 7 мГал возникает из-за его значительных размеров, так как значения Δg являются функцией массы. В то же время аномалия V_{zz} над ним отрицательна. В верхней части этого массива по данным бурения избыточные плотности основных пород

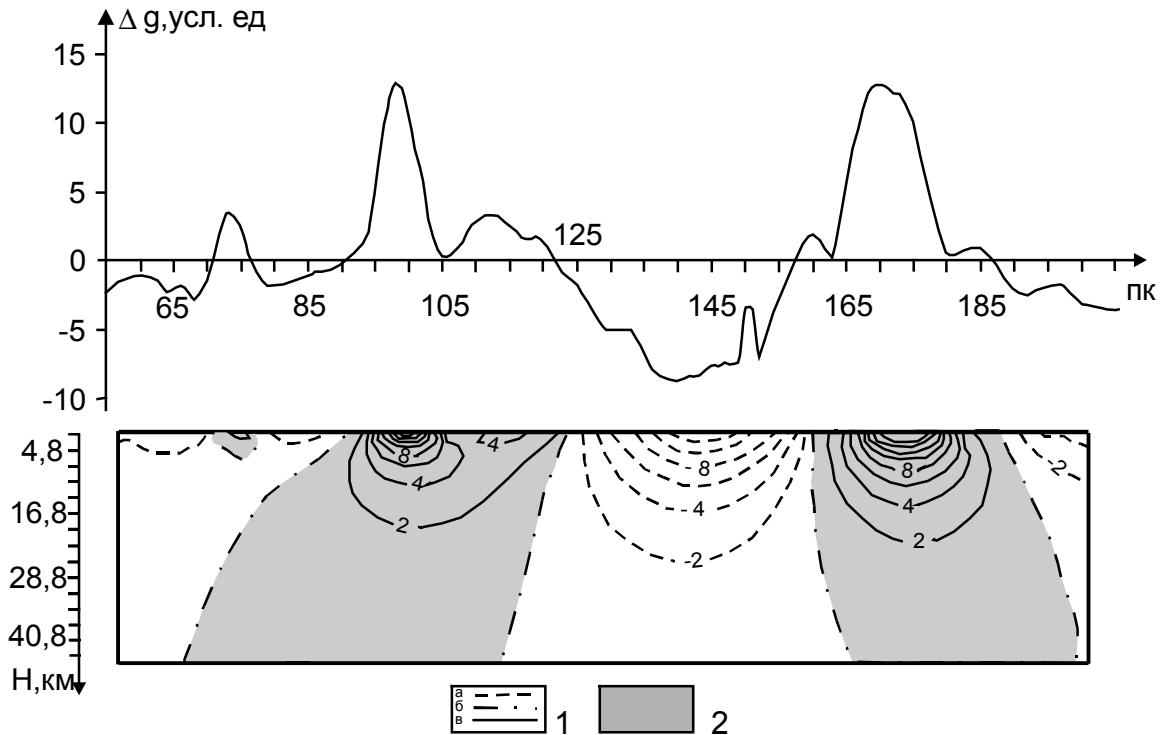


Рис.3. Значения поля силы тяжести и плотностная модель по профилю Каменка — Борисоглебск: 1 - изолинии значений избыточной плотности ($г/см^3$): а) - отрицательные, б) - нулевые, в) - положительные; 2 - области положительных значений избыточной плотности.

варьируют в очень широком диапазоне — от 0 до $+0,3 г/см^3$. В целом же, избыточная плотность хоть и достаточно мала, но положительна. Наблюдаемую суперпозицию полей можно истолковать, по крайней мере, двумя моделями. Во-первых, можно предположить, что нижняя часть разреза сложена породами кислого состава с отрицательной избыточной плотностью. Более детально эта ситуация обсуждена в [4]. И, во-вторых, разуплотнение может быть не вещественным, а носить структурный характер. Поскольку Еланский массив находится в узле пересечения нескольких разломов, сам он и вмещающие его породы, могут быть структурно разуплотнены, тем самым, создавая пониженное поле V_{zz} .

Наконец, рассмотрим сочетание полей над Бороздиновским массивом, где фиксируются слабая положительная аномалия Δg , отрицательная аномалия V_{zz} при отрицательных значениях избыточной плотности в верхней части массива. Аномалия V_{zz} , видимо, вызвана верхней частью массива, которая, как уже отмечалось, серпентинизирована. Нижняя часть массива, видимо, не подвергалась серпентинизации и создает аномалию Δg , которая в несколько раз шире аномалии V_{zz} , т.е. массы, создающие аномалию Δg , лежат более глубоко.

С целью получения вероятностного глубинного плотностного разреза вдоль профиля проведено двумерное моделирование. При этом для исключения влияния приповерхностных неоднородностей выполнено осреднение наблюдаемого поля, с радиусом 2 км. Полученные значения V_{zz} в виде графика приведены на рис.2 и положены в основу решения обратной задачи методом эквивалентного подбора с

регуляризацией по Тихонову (программа GRAD) [6]. В процессе подбора нижнее полупространство аппроксимировалось набором бесконечных горизонтальных призм (размер элементарной ячейки 8×8 км). Нижняя граница области располагается ниже предполагаемой поверхности Мохо. Результаты решения обратной задачи в виде эквивалентного распределения эффективных плотностей до глубины 68 км представлены на рис.2. Следует иметь в виду, что полученные численные значения плотностей соответствуют эквивалентному, а не истинному распределению масс и даны в условных единицах. Как показывает опыт предыдущих исследований, относительные значения уплотнения и разуплотнения, границы и глубины залегания их зон при адекватности принимаемой физико-геологической модели достаточно близко соответствуют реальному распределению масс.

Результаты моделирования показывают, что земная кора вдоль профиля, особенно в верхней его части резко дифференцирована. На глубинах до 28 км выделяются многочисленные плотностные неоднородности. На глубинах от 28 до 60 км на модели четко выделяются три блока с различной избыточной плотностью: ПК 1-61 – блок с пониженными значениями плотности, ПК 62 – 153 - блок с избыточными значениями плотности, ПК 154 – 240 – снова блок с пониженными значениями. Причем в верхней части плотностного разреза над первым блоком до глубины 4 км четко очерчиваются тела с повышенными плотностными характеристиками.

Выделяемые в поле V_{zz} Мечетковский и Озерковский массивы расположены в зоне второго

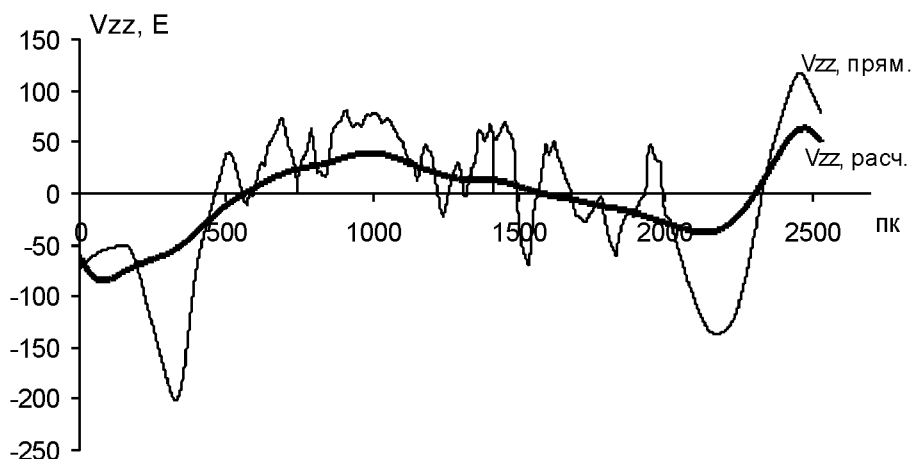


Рис.4. Сравнение наблюдаемой и расчетной аномалии вертикального градиента (расчетная аномалия получена от регионального распределения избыточной плотности).

выделяемого блока и по своим характеристикам мало отличаются друг от друга: пониженные плотностные характеристики наблюдаются в верхней части разреза, а повышенные — в нижней. Вертикально падающих массивов в полученном плотностном разрезе не наблюдается.

Граница первого и второго блоков на модели имеет северо-восточное падение и фиксируется в районе ПК 48.

Лосевско-Мамонская зона разломов отмечается сменой положительных значений плотности на отрицательные только в верхней части разреза (до 21 км).

Граница между 2-м и 3-м блоками (ПК 51-53) практически вертикальна и соответствует глубинным разломам, показанным на геологическом разрезе (рис.2).

В районе ПК 185 – 240 выделяется большой массив с пониженными значениями плотности, нижняя граница которого достигает глубины ~51-52 км.

Для получения более достоверной картины на значительной части профиля выполнено моделирование поля Δg с аналогичным размером элементарной ячейки 8x8 км (рис.3). По его результатам так же можно выделить 3 блока с различными плотностными характеристиками: два с пониженными значениями плотности, а между ними блок, сложенный более плотными образованиями. Однако, границы блоков несколько смещены в юго-западном направлении, по сравнению с моделью, построенной в результате моделирования V_{zz} .

По полученным значениям избыточных плотностей была решена прямая задача (рис.4). Адекват-

ность распределения наблюдаемого и теоретического полей, позволяет сделать вывод о том, что полученный в результате моделирования характер распределения плотностных неоднородностей носит объективный характер.

Работы выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект 99—05—65015).

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Ю.В., Варламов А.С., Зубченко Е.А. Методика и результаты измерений вертикального градиента силы тяжести // Разведочная геофизика. -Вып. 108. -М., 1988. -С.94—99.
2. Антонов Ю.В., Зубченко Е.А. Измерение вертикального градиента силы тяжести в Таджикистане // Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений. — Свердловск, 1987. -С.55–58.
3. Антонов Ю.В., Винокуров С.К., Слюсарев С.В., Котов В.Н. Измерение вертикального градиента силы тяжести на Воронежском кристаллическом массиве // Разведочная геофизика. -Вып.115. -М., 1993. -С.61-67.
4. Антонов Ю.В., Винокуров С.К., Слюсарев С.В. Опыт градиентной съемки силы тяжести при поисках сульфидного оруденения на Воронежском массиве // Изв. вузов. Геол. и разведка. -1991. -№5. -С.102-107.
5. Афанасьев Н.С. Петроплотностная характеристика горных пород и соподчиненных геоструктур докембрия Воронежского кристаллического массива // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геологическая. -1999. -№7. -С.201-208.
6. Антонов Ю.В., Муравина О.М. Решение обратной задачи для вертикального градиента силы тяжести // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геологическая. -1996. -№1. -С.183-187.