

**ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ
НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНЫХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ****Ю. В. Антонов, К. Ю. Силкин, К. С. Черников***Воронежский государственный университет*

В практике гравиметрических исследований сложилось мнение, что аномалии градиентов силы тяжести отражают влияние в основном верхней части геологического разреза, а аномалии силы тяжести — более глубокие и более крупные геологические объекты. Этому, видимо, способствовало то, что вариометрические измерения, начиная со времен создания вариометра Этвешем, проводились только в сугубо практических целях на локальных объектах, потому что из-за слабой производительности вариометров в отличие от гравиметров измерение производных не могло проводиться на обширных территориях. Кроме того, поскольку градиенты силы тяжести являются функцией плотности, а сила тяжести — функцией массы, то считалось, что на больших глубинах не может быть значительных перепадов плотности, поэтому вариометрия мало пригодна для изучения больших глубин. Но измерения [1—5] показали, что региональные аномалии вертикального градиента имеют место быть, что на больших глубинах имеется значительная дифференциация избыточных плотностей и что вариометрия может быть использована для изучения глубинного строения земной коры. К тому же аномальный эффект от неоднородностей может усиливаться собственными колебаниями Земли.

В предлагаемой статье попытаемся подтвердить высказанное и показать на примере измерений вертикального градиента силы тяжести, что геологическая эффективность вариометрических наблюдений при изучении глубинного строения земной коры ничем не хуже, чем при использовании аномалий силы тяжести. При этом особо подчеркнем, что геологическая эффективность резко повышается при совместном измерении силы тяжести и ее вертикального градиента. В статье развиваются также идеи исследований по вертикальному градиенту силы тяжести [2, 4] в смысле практического использования этих идей для глубинного изучения земной коры. В частности, при помощи совместного анализа аномалий силы тяжести и ее производных удастся провести выявление скомпенсированных плотностных неоднородностей в земной коре. Напомним, что под скомпенсированными плотностными неоднородностями понимается одновременное наличие двух (в принципе и большего числа) плотностных неоднородностей разного знака, расположенных друг над другом. Такие плотностные неоднородности создают притяжения разного знака, которые взаимно компенсируются, и не проявляются или слабо проявляются в наблюдаемых полях силы тяжести или ее производных. А выявление таких скомпенсированных плотностных неоднородностей дает возможность с большей однозначностью изучать строение земной коры.

Вся территория Воронежского кристаллического массива (ВКМ) покрыта гравиметрическими съемками. В 30—50 годы прошлого века были проведены обширные вариометрические измерения, которые были сосредоточены только на площадях развития железистых кварцитов, а позже почти вся территория ВКМ покрыта кондиционной гравиметрической съемкой силы тяжести масштаба 1:50 000. В последнее время силами кафедры геофизики Воронежского госуниверситета проводятся региональные измерения вертикального градиента силы тяжести. Ранее при вариометрических съемках вертикальный градиент не измерялся, потому что отсутствовала аппаратура для

измерения градиента. И только в последнее время в связи с созданием высокоточных гравиметров это стало возможным. К настоящему времени большая часть ВКМ покрыта съемкой вертикального градиента силы тяжести. Достигнутая сейчас плотность пунктов наблюдений соответствует масштабу 1:1000 000, а вдоль р. Дон в достаточно широкой полосе — 1:500 000. Среднеквадратическая погрешность единичного измерения градиента $\pm 20\text{E}$, что позволило построить карту с сечением изолиний 50E [1].

В результате интерпретации карты вертикального градиента [1] было установлено, что региональное поле вертикального градиента выглядит несколько иначе, чем поле силы тяжести. Региональное поле градиента получено с помощью

осреднения. В региональное поле градиента Воронежский массив в целом выделяется положительной аномалией. С юго-западной, северо-восточной и юго-восточной сторон массив четко ограничивается достаточно широкими относительно отрицательными аномалиями градиента. Юго-западная аномалия градиента пространственно совпадает с юго-западным крылом Курской магнитной аномалии (КМА), а восточная часть КМА относится к ВКМ. Очевидно, это может свидетельствовать о том, что в архее развитие западной и восточной частей проходило по разным сценариям. Скорее всего, КМА как самостоятельная структура сформировалась только в протерозое.

Северо-восточная аномалия градиента проходит по территории Тамбовской области параллельно Пачелмскому прогибу и находится западнее прогиба. Очень четкая и интенсивная отрицательная аномалия наблюдается на юго-востоке. Очевидно, эту аномалию можно принять за естественную границу между ВКМ и Прикаспийской впадиной. До сих пор эта граница по аномалиям силы тяжести выделялась достаточно условно. Таким образом, по распределению поля вертикального градиента выделяются несколько иные границы, чем по аномалиям силы тяжести. Противоречия в этом нет никакого, а наоборот совместный анализ аномалий силы тяжести и вертикального градиента дает нам новые возможности в изучении исторического развития региона.

Центральное ядро Воронежского массива подразделяется на три части. Центральная часть отмечается пониженными значениями градиента и вытянута в северо-восточном направлении (назовем ее Воронежской зоной). Южнее и севернее располагаются зоны (Ливенская и Хоперская) повышенных значений градиента.

Если принять, что отрицательные аномалии градиента, следуя рассуждениям из [2, 4], связаны с разуплотнением в результате выноса материала в верхние горизонты земной коры при магматической деятельности, то можно прийти к следующим выводам. Судя по размерам аномалий вертикального градиента, можно говорить об изменениях плотности в выделенных блоках на достаточно большую глубину. По предварительным расчетам разуплотнением затронуты земные недра на глубину более 100 км. Учитывая ориентировку аномалий, можно предположить что структуры (блоки?) с северо-восточной ориентировкой образовались еще в архейское время. Они прослеживаются через всю территорию ВКМ. Структуры, имеющие



Рис. 1. Карта вертикального градиента силы тяжести (сечение изолиний через 50 этвеш, зоны положительных значений заштрихованы): Положительные аномалии: II — Касторненская; зоны отрицательных аномалий: I — Черемисиновская; III — Хохольская; IV — Острогжско—Цигровская линейная зона

северо-западное простирание, можно отнести к протерозойскому времени. Кстати, в таком сочетании структур северо-западного и северо-восточного направлений не находит своего места Лосевская шовная зона.

Таким образом, можно отметить, что измерения вертикального градиента позволяют более четко выявить древнюю фазу магматической деятельности на территории ВКМ. Действительно, если обратиться к карте аномалий силы тяжести, то увидим доминирующее северо-западное простирание изолиний силы тяжести, которое остается таким же после осреднения с любым радиусом или же после проведения любых других трансформаций поля. Следовательно, поле силы тяжести почти на всей территории ВКМ обуславливается преимущественно протерозойским этапом магматической деятельности. Естественно, что влияние более древнего архейского этапа магматизма полностью не исчезло. Пусть это влияние достаточно

ослаблено, но оно проявлено в кулисообразном расположении локальных аномалий силы тяжести протерозойской ориентировки, ориентировке изолиний и т.д.

Во внутренней структуре КМА характерным сочетанием пониженных значений градиента и максимумов поля силы тяжести фиксируются Михайловско-Белгородский и Орловско-Россошанский (Алексеевско-Воронецкий рифт) раннепротерозойские подвижные пояса. По внутреннему строению оба пояса (представляют собой синклинорные структуры, выполненные осадочными, вулканогенно-осадочными и эффузивными образованиями курской серии, обладающими в целом повышенной плотностью. Каждый из них представляет собой складчато-глыбовую структуру, состоящую из сложных, часто асимметричных, сжатых межразломных протоавлакогенов, цепочек вытянутых надразломных впадин, чешуйчатых надвигов, и мелких архейд, разделенных и ограниченных многочисленными крутопадающими разломами. Повышенные значения поля силы тяжести в пределах поясов определяются спецификой образований, выполняющих синклинорные структуры. На карте вертикального градиента эти зоны отмечаются пониженными значениями вертикального градиента. Минимумы градиента, по нашему мнению, характеризуют область структурно-вещественного разуплотнения за счет выноса вещества с более глубоких уровней кристаллической коры, что хорошо согласуется с результатами моделирования [2, 4]. Учитывая, что раннепротерозойские подвижные пояса закладывались вдоль зон глубинных региональных разломов, можно предположить, что это разуплотнение обусловлено интенсивными магматическими процессами вдоль их зон, о чем свидетельствуют многочисленные аллохтонные гранитные интрузии.

Вероятно, можно высказать следующие соображения. Наиболее интенсивной магматической деятельностью отличалась протерозойская фаза. Наблюдаемые меридиональные зоны пониженных значений градиента, которые мы связываем с палеозойской фазой магматической деятельности, по интенсивности и глубине проникания в земную кору заметно уступают таким же зонам протерозойского возраста. Что же касается магматической активности в архее, то ее трудно реконструировать без дополнительных исследований комплексных геолого-геофизических исследований, и она во многом затуманена магматической активностью протерозоя. Однако, с большой долей уверенности

можно предположить, что магматические процессы, происходившие в архейское время, захватывали более глубокие горизонты земной коры, чем в протерозое.

Кроме того, с зонами магматизма связан вынос рудных компонентов. Кстати, вынесенные на карту вертикального градиента месторождения и рудопроявления никеля, а также ореолы рассеяния (геохимические аномалии) редкоземельных элементов [1] располагаются в отрицательных зонах.

Месторождения и рудопроявления никеля, как правило, приурочены к ультраосновным и основным интрузиям небольшого размера, которые соответственно создают небольшие по площади и по интенсивности аномалии силы тяжести (первые миллигалы). Не исключено, что в поле силы тяжести эти отрицательные зоны как-то проявляются, но они создают аномалии очень слабой интенсивности, которые на фоне интенсивных аномалий силы тяжести от верхней части геологического разреза на данном этапе не могут быть выделены с помощью трансформаций или каких-то других методов. В общем-то, это нормальное явление. В интенсивности и морфологии поля градиента отображаются как вещественные так и структурные неоднородности различных уровней земной коры, многие из которых не вызывают заметных возмущений поля Δg . И наоборот, некоторые четко выраженные аномалии поля силы тяжести не имеют адекватного отображения в поле V_{zz} . Покажем справедливость высказанного на примере зон положительных значений вертикального градиента.

В качестве примера возьмем аномалии силы тяжести и ее вертикального градиента, примыкающие к Острогжско-Щигровской линейной зоне. Например, локальная полосовая аномалия силы тяжести (рис. 2) интенсивностью более 20 мГал и имеющая четкое северо-западное простирание вдруг перед г. Касторное меняет свое направление на северное. На карте силы тяжести эта полоса как бы упирается в отрицательную локальную аномалию северо-восточного направления гораздо меньшей интенсивности (5—10 мГал) чем полосовая аномалия. Далее за г. Касторное эта положительная полосовая аномалия продолжается.

Теперь смотрим на поведение аномалий вертикального градиента на этой же площади (рис. 1). На месте отрицательной аномалии силы тяжести северо-восточного направления находится положительная аномалия вертикального градиента силы тяжести (II) того же направления, названная ранее [1] авторами данной статьи Касторненским рести-

том (?). Верхняя часть геологического разреза (по результатам количественной интерпретации) мощностью до 5—10 км разуплотнена, а нижняя часть до 20—30 км переуплотнена. Подобная ситуация нами уже рассматривалась над Лискинским гранитоидным массивом, который в поле силы тяжести отмечается небольшой локальной аномалией отрицательного знака, а в поле вертикального градиента интенсивной положительной аномалией [5]. Тогда рассматривались различные варианты природы Лискинской аномалии вертикального градиента, и из всех вариантов было выбрано, что подобное сочетание аномалий силы тяжести и ее вертикального градиента наиболее приемлемо для рестита. Поэтому Касторненскую аномалию мы тоже связываем с реститом.

По результатам измерений вертикального градиента в юго-восточной части Воронежского массива ранее [1] было установлено, что к зонам линейных отрицательных аномалий приурочены медно-сульфидные месторождения, а повышенные концентрации (геохимические аномалии) и находки единичных минералов радиоактивных и редкоземельных элементов тяготеют к границам положительных и отрицательных аномалий, даже чуть ближе к положительным. Подобная линейная зона присутствует и на рассматриваемом участке. На карте вертикального градиента (рис.1) четко просматривается Острогужско-Щигровская линейная зона, которая территориально совпадает с Тим-Ястребовской полосой. К этой же зоне приурочены рудопоявления и пункты минерализации золота и элементов платиновой группы.

Наконец, обратим внимание на две отрицательные зоны, примыкающие к Касторненской положительной аномалии: Черемисиновскую (I) и Хохольскую (III). Если сравнивать эти зоны с аналогичными зонами в юго-восточной части ВКМ [1], то указанная территория может быть источником полиметаллов.

Таким образом можно констатировать, что структуры северо-восточного направления играли существенную роль в истории развития Воронежского массива, поэтому тектоническое районирование и решение других геологических задач необходимо проводить с учетом этого обстоятельства.

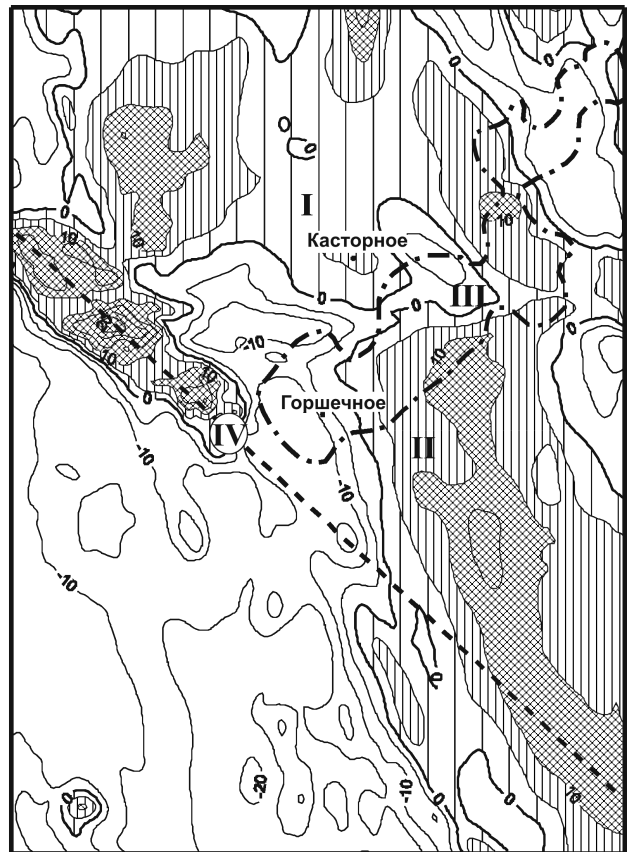


Рис. 2. Карта локальных аномалий силы тяжести (сечение изолиний через 5 миллигал). Обозначения те же, что и на рис. 1

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Ю.В., Силкин К.Ю., Черников К.С. Карта вертикального градиента силы тяжести Воронежского кристаллического массива // Геофизика. 2006. № 3. С. 53—56.
2. Антонов Ю.В. Плотностные неоднородности в земной коре // Геофизика. 2005. № 1. С. 62—68.
3. Антонов Ю.В., Жаворонкин В.И., Слюсарев С.В. Новые возможности гравиметрии в изучении геологического строения земной коры // Геофизика. 1999. № 3. С. 47—52.
4. Антонов Ю.В., Зубченко Е.А., Слюсарев С.В. Природа аномалий вертикального градиента силы тяжести над горными сооружениями Южного Тянь-Шаня // Изв. вузов. Геология и разведка. 1990. № 7. С. 102—106.
5. Антонов Ю.В., Жаворонкин В.И., Слюсарев С.В. Лискинская аномалия вертикального градиента силы тяжести // Вестник Воронежского университета. Сер. геология. 2001. № 1. С. 204—209.