



УДК 550.831

**МОРФОЛОГИЯ БОГДОУЛИНСКОГО ГРАНИТНОГО МАССИВА (МОНГОЛИЯ)
ПО ГРАВИМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ**© **Б. Буянтогтох¹, Е.Х. Турутанов², Н. Арвисбаатар³, Б. Тувшинжаргал⁴**^{1,4}Центр астрономии и геофизики МАН,

Р.О.-788, Ulanbaatar-210613, Mongolia.

²Иркутский государственный технический университет,

664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

²Институт земной коры СО РАН,

664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

³Национальный университет Монголии,

Р.О. Вох-46а/201, Ulaanbaatar-210646, Mongolia.

По результатам площадной гравиметрической съемки среднего масштаба, выполненной на территории Богдоулинского гранитного массива (Монголия), получена карта аномалий силы тяжести в редукции Буге. На основе интерпретации этих данных построена объемная модель массива. Мощность тела доходит до 4,5 км, площадь его проекции на земную поверхность в два раза превосходит площадь выходов массива. Сведения о форме и размерах массива могут быть использованы в процессе инженерно-сейсмологических работ по уточнению сейсмической опасности отдельных участков г. Улан-Батора, а также при формировании заключения о перспективах его металлогенической специализации, признаки которой в отношении отдельных минералов связаны с особенностями его формы и установлены геолого-геофизическими и геохимическими исследованиями.

Ил. 7. Библиогр. 20 назв.

Ключевые слова: Монголия; Богдоулинский гранитный массив; аномалия силы тяжести.**MORPHOLOGY OF BOGDOLINSKIY GRANITE MASSIF (MONGOLIA) BY GRAVITY DATA****B. Buyantogtoh, E. Kh. Turutanov, N. Arvisbaatar, B. Tuvshinzhargal**

Astronomy and Geophysics Center MAS,

Р.О.-788, Ulanbaatar-210613, Mongolia.

Irkutsk State Technical University,

83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

Institute of Earth's Crust,

128 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia.

National University of Mongolia,

Р.О. Вох-46а / 201, Ulaanbaatar-210646, Mongolia.

A map of gravity anomalies in Bouguer reduction is produced by the results of medium scale areal gravity survey performed on the territory of Bogdoulinskiy granite massif (Mongolia). A three dimensional model of the massif is built on the basis of the interpretation of these data. The thickness of ore body reaches 4.5 km, the area of its Earth's surface projection is twice the area of massif outbreaks. The information about the massif shape and extension can be used in engineering and seismic works on specification of the seismic hazard of some individual sections of the city of Ulan Bator, as well as in the conclusion on the prospects of its metallogenic specialization. The indication of the last in the case of certain minerals are associated with features of the massif shape and determined by geological, geophysical and geochemical studies.

7 figures. 20 sources.

Keywords: Mongolia; Bogdoulinskiy granite massif; gravity anomaly.

¹Буянтогтох Базарин, аспирант, научный сотрудник, тел.: (97611) 458024, e-mail: bazaryn_b@rcag.url.mn, bazaryn_b@yahoo.com

Buyantogtoh Bazarin, Postgraduate, Researcher, tel.: (97611) 458024, e-mail: bazaryn_b@rcag.url.mn, bazaryn_b@yahoo.com

²Турутанов Евгений Хрисанфович, кандидат геолого-минералогических наук, зав. лабораторией комплексной геофизики Института земной коры СО РАН, доцент Института недропользования НИ ИргТУ, тел.: (3952) 428792, 89086611976, e-mail: tur@crust.irk.ru

Turutanov Evgeniy, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Head of the Complex Geophysics Laboratory at the Institute of the Earth's Crust SB RAS, Associate Professor of the Institute of Exploration of Natural Resources of NR ISTU, tel.: (3952) 428792, 89086611976, e-mail: tur@crust.irk.ru

³Арвисбаатар Наваанчимидийн, кандидат геолого-минералогических наук, профессор Института физики и электроники, тел.: (976) 99859278, e-mail: arvis@num.edu.mn

Arvisbaatar Navaanchimidiin., Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Professor of the Institute of Physics and Electronics, tel.: (976) 99859278, e-mail: arvis@num.edu.mn

⁴Тувшинжаргал Батсукх, аспирант, научный сотрудник, тел.: (97611) 458024.

Tuvshinzhargal Batsukh, Postgraduate, Researcher, tel.: (97611) 458024.



Введение

Горстовая блоковая структура гранитоидов массива Богдоул расположена в краевой части Хэнтэйского нагорья Хангай-Хэнтэйского поднятия Монголо-Забайкальской (Хангай-Хэнтэйской) складчатой системы Центральной Монголии (рис. 1) [5; 7; 12]. Столь крупная плотностная неоднородность может оказать заметное влияние на уровень сейсмичности района [16], поэтому изучение формы и размеров Богдоулинского гранитного массива, глубинная геометрия которого до сих пор совершенно не изучена и который расположен в пределах мегаполиса Улан-Батора, представляет собой актуальную задачу.

Основные черты геологического строения Улан-Баторского района

Древний фундамент района представлен породами терригенной формации верхнего рифея – нижнего кембрия, характеризующими нижнепалеозойский структурно-формационный этаж, состоящий главным образом из осадочно-метаморфических пород карбонного состава (различные сланцы, гравелиты, песчаники с прослоями яшм и туффитов). Этот комплекс осложнен внедрившимися в мезозое гранитоидными интрузиями.

Среднепалеозойские отложения собраны в складки антиклинального типа в основном северо-восточного простирания. Породы падают на северо-запад под углом 50–70°.

Каменноугольные отложения, которые составляют более половины объема всех горных пород, особенно широко развиты в этом районе. Они имеют морское происхождение, представлены в основном песчаниками и алевролитами и нередко характеризуются флишоидным строением. В низах их иногда эпизодически встречаются яшмоиды, туфогенные породы и эффузивы среднего состава. В пределах центральной части Хэнтэйской горной страны каменноугольные

отложения подразделяются (также, как и в Восточном Хангае) на две литологически отличные толщи и, соответственно, на те же два возрастных комплекса, входящих в состав хэнтэйской серии девонско-каменноугольного возраста [7]. Нижняя, главным образом песчанико-алевролитовая толща, иногда с горизонтами туфогенных и эффузивных пород, часто характеризуется ритмичным строением. Она занимает значительные площади в окрестностях г. Улан-Батора (рис. 2).

Разрезы нижней толщи изучены по обоим склонам долины р. Улиастайн-гол, в долине р. Толы (Туул-гол) севернее сомона Налайх и южнее сомона Алтан-Обо, а также на северном склоне гранитоидного массива Богдоул. На этих участках обнажены, по-видимому, различные горизонты. Наиболее низкие горизонты, вероятно, вскрыты лишь по р. Толе севернее Налайха и на северных склонах массива Богдоул. Они представлены темными кремнисто-глинистыми алевролитами и мелкозернистыми песчаниками, ритмично (150–200 м) чередующимися с мощными пачками яшм и туффитов. Вверх по разрезу переслаивание становится более частым, причем возрастает роль мелко- и среднезернистых песчаников; появляются пачки (10–15 м) тонкого флишоидного переслаивания. В верхней части разреза нижней толщи присутствуют прослой (до 5 м) яшм, туфов, изредка известняков. Самые верхние толщи, представляющие переслаивание песчаников и алевролитов, обнажены на северной окраине Улан-Батора. Здесь в линзе известняков, залегающих среди песчаников, обнаружены обильные остатки мшанок. Видимая мощность нижней толщи в районе Улан-Батора колеблется от 400 до 1400 м. К востоку, в окрестностях Улан-Батора и в междуречье Толы и Трэльджи, мощность верхней толщи составляет 1200–1500 м [7].

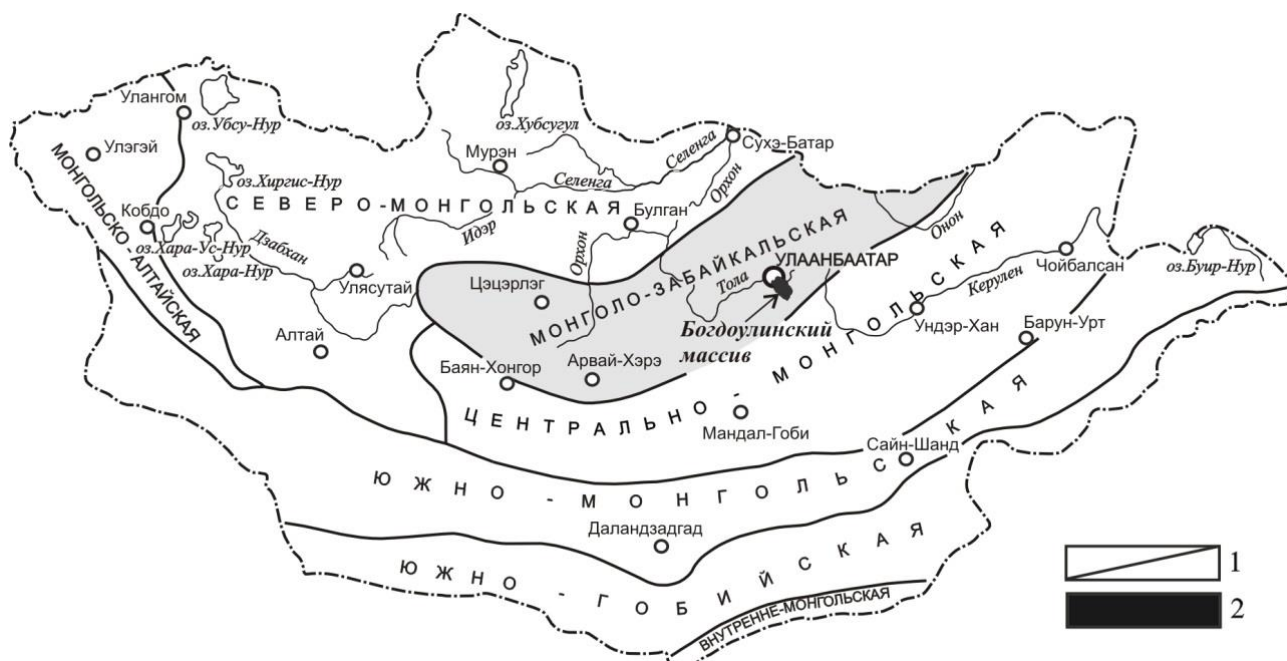


Рис. 1. Схема расположения складчатых систем и Богдоулинского массива на территории Монголии: 1 – границы складчатых систем (по [7]); 2 – Богдоулинский массив

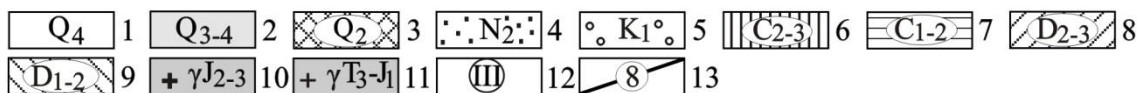
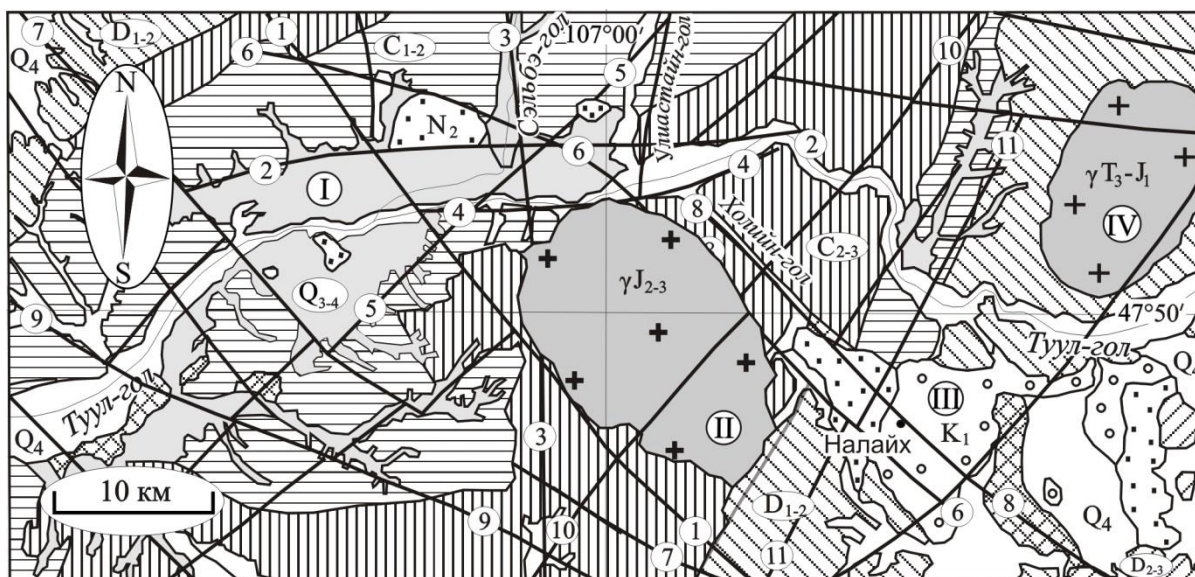


Рис. 2. Геологическая схема района Богдоулинского гранитного массива (по [2; 7; 15] с изменениями). Четвертичные отложения: 1 – аллювиальные отложения: галька, гравий, песок, супесь, суглинки, глины; 2 – аллювиально-пролювиальные отложения: глыбы, дресва, щебень, галька с суглинисто-супесчаным заполнением, делювиально-пролювиальные отложения; 3 – отложения древних низких речных террас: глыбы, дресва, щебень, галька с суглинисто-супесчаным заполнением, супесь, суглинок; 4 – верхний неоген-плиоценовые отложения: красноцветные, иногда желтовато-пестрые глины, алевроитовые гальки, пески, слабо цементированные брекчи, конгломераты, гравелиты, суглинки; 5 – нижний мел. Зуунбаянская свита: песчаники с фауной и флорой, алевролиты, конгломераты, гравелиты, глины, аргиллиты; 6 – средний-верхний карбон: разномерные песчаники с прослойками глинистых сланцев, редко гравелиты, конгломераты, алевролиты, гравелиты; 7 – нижний-средний карбон: глинистые сланцы с прослойками разномерных песчаников, алевролиты, кремнистые алевролиты, редко прослойки яшм; 8 – средний-верхний девон. Горихинская свита: желтоватые средне-мелкозернистые песчаники, туфопесчаники, редко линзы яшм, прослойки туфитов; 9 – нижний-средний девон. Горихинская свита, нижний горизонт: песчаники с чередующимися прослойками алевролитов и сланцев, алевро-песчаный кварцит, редкие линзы основных эффузивов; 10 – Богдоулинский массив, харалгайская формация: гранит-порфиры с биотитом и мусковитом, мелко-среднезернистые граниты с биотитом и мусковитом, редко с аляскитом, средне-крупнозернистые порфиroidные граниты с биотитом, аляскитом, иногда щелочные; 11 – Горихинский массив, жанчивланская формация: мелкозернистые гранит-порфиры, кварцевые жилы, среднезернистые граниты, среднезернистые порфиroidные светлые граниты с биотитом, роговой обманкой, средне-крупнозернистые порфиroidные граниты с биотитом, биотитовой и роговой обманкой, мусковитом. 12 – крупнейшие плотностные неоднородности верхней части земной коры Улан-Баторского района (цифры в кружках (римские)): I – Улан-Баторская депрессия; II – Богдоулинский гранитный массив; III – Налайхинская котловина; IV – Горихинский гранитный массив. 13 – крупные разломы, установленные по геологическим данным (цифры в кружках (арабские)) – названия разломов (по [15]): 1 – Шижирбогдоулинский; 2 – Северо-Тольский; 3 – Сэльбинский; 4 – Южно-Тольский; 5 – Гацууртынский; 6 – Баянхошуунский; 7 – Сонгиноульский; 8 – Хонхоринский; 9 – Тургэнийский; 10 – Хундайский; 11 – Дэндэйский

Меловые отложения представлены континентальными толщами, залегающими несогласно на палеозойском и раннемезозойском основании. Состав их весьма разнообразен. Среди них широко развиты песчаники, алевролиты, аргиллиты, глинистые и углистые сланцы и известняки, глины, угли, эффузивы основного, среднего и кислого состава. Угли имеют черную или бурую окраску, остальные породы – пеструю.

Верхняя часть разреза Улан-Баторской впадины представлена глинистыми толщами неогена, перекрытыми грубозернистыми аллювиальными, аллювиально-пролювиальными и делювиально-пролювиальными четвертичными отложениями.

Кайнозойский структурно-формационный этаж представлен красноцветной терригенной формацией континентального типа и терригенной формацией континентального типа четвертичного периода. Нижняя часть третичных отложений состоит из конгломерата в песчано-глинистом слабосцементированном состоя-

нии. Выше конгломератов залегает прослой светлых серых глин с линзами слабосцементированных песчаников и гравийных конгломератов. Пестроцветная толща сменяется красноцветной свитой в нижней части, представленной конгломератами и прослойками грубых песчаников, в верхней – суглинками с галькой и гравием. Кайнозойские отложения в целом слабо дислоцированы и имеют общее падение слоев на юго-восток под небольшими ($\leq 18^\circ$) углами.

Неогеновые отложения нерасчлененные. К ним относятся небольшие поля этих отложений, развитые в долине р. Толы, на юго-западе г. Улан-Батора, на площади Налайхинской впадины и во впадине, расположенной восточнее ее, а также в следующей за ней на юго-восток межгорной впадине. Отложения эти изучены чрезвычайно слабо, но по имеющимся разрозненным данным можно судить, что, как и стратифицированные образования этого возраста, они сложены главным образом красными и пестрыми глина-



ми, песками, песчаниками, конгломератами, галечниками, гравелитами, алевритами, обнаруживающими быструю смену состава как в разрезе, так и по простиранию. На более древних образованиях они лежат с размывом и угловым несогласием. Достаточно сильно эти отложения дислоцированы лишь в краевых частях впадин, а на остальной площади имеют горизонтальное залегание. Например, в пределах Налайхинской котловины эти отложения представлены песками, различными по окраске глинами, конгломератами, галечниками и рыхлыми песчаниками. Породы залегают практически горизонтально и имеют мощность около 350–400 м [7].

Четвертичные отложения пользуются повсеместным распространением на территории Улан-Баторского района. По генезису среди них выделяются коллювиальные, делювиально-дефлюкционные, делювиально-солифлюкционные, элювиальные, ледниковые и вулканогенные образования. Аллювиальные отложения в долине р. Толы в районе г. Улан-Батора достигают 30 м. По данным инженерно-геологических исследований, участок долины реки Тола, расположенный в пределах Улан-Баторской депрессии, в основном сложен аллювиальными отложениями, состоящими из гальки, гравия, песка, супеси, суглинка и глины [14]. В основном же осадочные образования самой впадины выполнены аллювиально-пролювиальными отложениями, включающими глыбы, дресву, щебень, гальку с суглинисто-супесчаным заполнением, и делювиально-пролювиальные отложения [2]. К северному борту впадины приурочены верхне-неоген-плиоценовые отложения, представленные красноцветными, иногда желтовато-пестрыми глинами, алевритовой галькой, песками, слабо цементированными брекчиями, конгломератами, гравелитами и суглинками. Наиболее мощные выходы этих образований отмечены между выходом палеозойских гранитов и правым берегом р. Сэльбэ-гол (см. рис. 2), в районе пересечения крупных разломов – Гацууртынского и Баянхошуунского.

В 35 км к юго-востоку от Улан-Баторской депрессии расположена Налайхинская впадина мезозойского заложения. Она имеет субширотную ориентировку и заполнена нижнемеловыми отложениями, залегающими с угловым несогласием на терригенных образованиях Хэнтэйской серии (см. рис. 2). Вмещающие ее среднепалеозойские отложения собраны в крутые изоклинальные складки преимущественно северо-восточного простирания. К депрессии приурочено Налайхинское месторождение бурых углей [8].

Восточнее Налайхинской впадины расположен целый ряд межгорных депрессий мезозойского заложения, приуроченных к краевым шовным зонам Южно-Хэнтэйского геоантиклинального поднятия и также заполненных меловыми отложениями: Цайдамская, Нурст-Хонхорская, Шанаган-Энгарская, Табун-Субайская, Баганурская, Прикеруленская. Они представляют собой узкую глубоководную грабен-синклинальную структуру северо-восточного простирания, ограниченную северо-гобийским глубинным разломом. Ее северо-западный борт крутой, а юго-восточный – пологий.

Протяженность составляет около 200 км, ширина достигает 13–20 км. Внутреннее строение этой цепочки впадин представляет собой весьма сложную мозаику тектонических блоков различной величины, в осевой части которой с юго-запада на северо-восток комплексом геофизических методов выявлено несколько мультислойных структур (прогибов фундамента), часть из которых угленосные – Цайдамская, Нурст-Хонхорская, Бурулжунтинская, Табун-Субайнская и Баганурская, к которой приурочено Бага-Нурское бурое угольное месторождение [8].

Структурно-тектоническая позиция, возраст и металлогения Богдоулинского массива

Основанием разреза Северо-Хэнтэйской зоны являются венд-кембрийские офиолиты, которые перекрываются раннепалеозойскими (кембрий-силур) турбидитами. Вся эта толща прорвана известково-щелочными раннепалеозойскими гранитами и гранодиоритами. Породы Северо-Хэнтэйской зоны надвинуты на север на Кяхтинский массив. Толщина аллохтона здесь достигает 10 км, а его амплитуда – 40–50 км. Хэнтэйская зона в среднем палеозое (в девоне и карбоне) играла роль преддугового прогиба, в котором накапливались турбидиты [17; 18]. Тектонический режим развития района в нижнепалеозойский этап соответствовал накоплению осадков в условиях прогибания днища существовавшего здесь морского бассейна [12]. Средне- и верхнепалеозойский структурно-формационные этапы развивались в условиях продолжающегося прогибания дна уже существующего бассейна. В нижнем и среднем девонах произошло формирование эффузивно-осадочных толщ. Несмотря на иной режим накопления был в верхнем девоне – нижнем карбоне. В это время сформировалась туффит-сланцевая и песчаная формация, практически весь карбон характеризовался режимом формирования терригенных толщ в прибрежных условиях прогибания дна морского бассейна. В это время произошло накопление конгломерато-песчано-алевролитовых и песчаных толщ. В верхнем палеозое морской режим накопления осадков сменился континентальным, в связи с началом поднятия была сформирована конгломерато-песчаная формация.

Структурный план района в основном был заложен в верхнем палеозое, и в дальнейшем уже континентальные условия способствовали глыбовым перемещениям, расчленяющим палеозойский фундамент. Заложение более крупных разломов, по-видимому, относится к средне-верхнепалеозойскому этапу тектоно-магматической активизации. Преобладание однонаправленного залегания пород и складок свидетельствует о том, что в среднем палеозое ориентировка поля тектонических напряжений если и менялась, то незначительно. Субмеридиональная ориентировка Богдоулинского гранитного массива в общих чертах совпадает с преобладающим простиранием пород докембрийского фундамента (см. рис. 2).

Богдоулинский гранитный массив контролируется системой глубинных разломов, крупнейшей из которых является Тольская система (рис. 2) [15], ограничивающая массив с севера. В нижнем мелу палеозой-



ский фундамент в районе Богдоулинского массива испытывал общее поднятие, сопровождаемое разломообразованием. Многие разломы, заложенные ранее, были активизированы, например Хонхоринский (крупный разлом северо-западного простирания) и Шижирбогдоулинский (также северо-западного простирания) (см. рис. 2). Новейшие тектонические деформации наложены на мезозойские структуры, и разделить их не всегда возможно, поэтому часто мезозойские и кайнозойские структуры рассматриваются совместно как мезо-кайнозойские. Судя по выявленным зеркалам скольжения и глинкам трения, тектоническая активность проявлялась и в кайнозое. По видимому, ориентировка сил сжатия в мезозое в целом не отличалась от современной [11].

Структурно-тектоническая позиция района Богдоулинского массива характеризовалась сложно-блоковым строением, обусловленным разнонаправленными движениями по разломам. Главным элементом в этой структуре является Тольский разлом. По существу он представляет систему субпараллельных, иногда подходящих друг к другу под острым углом разрывов, отчетливо видных по бортам грабенов или выделяемых геофизическими методами под осадочными отложениями [15].

Судя по результатам интерпретации гравитационных аномалий, выполненных нами ранее [1; 18], граниты в верхней части земной коры в районе исследований слагают весьма плоские тела толщиной в первые километры. Например, девонские гранитоиды, развитые к северу от Хангая [1; 18], на глубинах 2–5 км занимают гораздо более обширные площади, чем на земной поверхности. Этот вывод, следующий из анализа геофизических материалов, относится и к раннекарбовым, и к пермским гранитам Центральной и Южной Монголии, а в некоторой степени и к средне-позднеюрским интрузиям Забайкалья [1; 18]. Граниты часто образуют каравановидные тела, тяготеющие либо к межформационным границам, либо к разломам.

Первое датирование гранитоидов Богдоулинского массива было выполнено в работе [19] и охарактеризовало возраст образования в 154 млн лет. В ходе последующего определения, выполненного К-Аг методом, эта цифра была исправлена на 138 млн лет. Недавние определения возраста гранитов Богдоулинского массива по цирконам, выполненные свинцовым методом в Лаборатории изотопов Института минералогии в университете г. Фрайберга (ФРГ) [20], дали величину, лежащую в пределах $205 \pm 4,1 \div 208,4 \pm 9,1$ млн лет, то есть датировали становление гранитоидов ранним мезозоем.

Минералогические исследования Богдоулинского массива показали, что повышенные содержания редкометалльных минералов связано со второй фазой гранитоидов, представленной лейкогранитами и гранитами, и концентрируется на северо-восточной окраине плутона, что совпадает с геохимическими данными, полученными ранее. Эти геохимические данные свидетельствуют, что в гранитоидах массива присутствует аномально высокое содержание Sn (до 25

мг/кг), Zn (до 81 мг/кг) и W (до 11 мг/кг). Неожиданной оказалась точечная концентрация молибденита и касситерита, обнаруженная на многих участках массива. Лабораторные измерения магнитной восприимчивости гранитоидов в количестве 65 образцов, выполненные на этих точках с помощью каппаметра КТ–5, указывают, что 80% этих образцов принадлежат ильменит-содержащим минералам, имеющим повышенную магнитную восприимчивость и создающим положительные магнитные аномалии. Также были проведены исследования по определению температуры кристаллизации Богдоулинских гранитоидов, выполненные с помощью анализа жидких включений в кварце и плавленом шпате массива. Оказалось, что средняя температура кристаллизации по кварцу лежит в интервале температур ($180,3 \div 365^\circ\text{C}$). Температура гомогенизации плавленого шпата оказалась равной $210,6^\circ\text{C}$.

Все имеющиеся к настоящему времени геологические, геофизические и сейсмические материалы говорят о необходимости специальных исследований, направленных на оценку степени сейсмической опасности территории столицы Монголии. В качестве одной из важнейших задач в этом плане следует рассматривать комплексное детальное геофизическое изучение верхней части земной коры Улан-Баторского района, в частности крупнейших плотностных неоднородностей этой части, к которым относится Богдоулинский гранитный массив.

Выделение аномалий силы тяжести, связанных с гранитными интрузиями

Для изучения глубинного строения Богдоулинского гранитного массива использовались гравитационные аномалии в редукции Буге (рис. 3). Они получены в результате обработки материалов крупномасштабной гравиметрической съемки с плотностью наблюдений 1 пункт на 1 км². Точность определения аномалий Буге составила $\pm 0,1$ мГал. Примененная нами методика гравиметрических съемок не отличалась от общепринятой [16].

Как правило, массивы кислых интрузивных пород, прорывающие складчатые песчанико-сланцевые толщи, отражаются в гравитационном поле отрицательными локальными аномалиями [16]. Последние иногда близки к изометричным, но чаще являются линейно-вытянутыми, так как интрузивные тела обычно вытянуты вдоль контролирующих их разломов. Отрицательные аномалии сходной интенсивности в рассматриваемых районах наблюдаются также и над средне-мезозойскими впадинами, заполненными кластическими континентальными отложениями верхней юры – нижнего мела. Понижения поля силы тяжести могут быть и над крупными синклинальными структурами вмещающих толщ. Для решения поставленной задачи последние два аномалиеобразующих фактора являются мешающими.

Для определения природы отрицательных локальных аномалий необходимо сопоставлять гравитационное поле с геологическими данными. Если денудационный срез глубок и выходы гранитов соответствуют общей площади кровли плутона или ее значительной части, то изоаномалы гравитационного поля

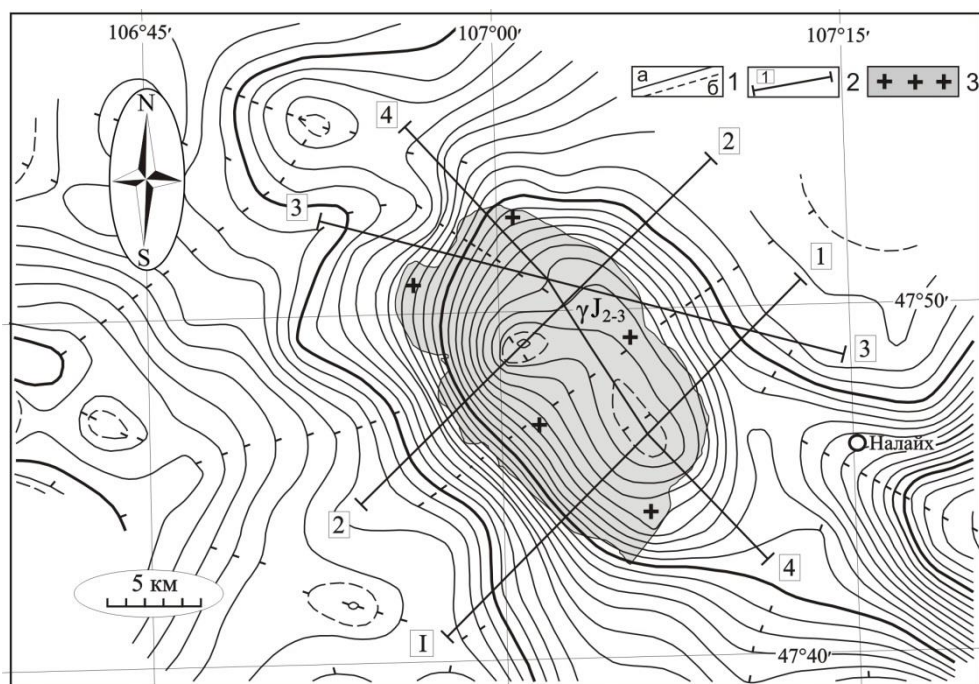


Рис. 3. Схема аномалий Буге Богдоулинского гранитного массива (в относительном уровне, сечение изоаномал через 0,5 мГал): 1 – изоаномалы силы тяжести: а – основные, б – дополнительные; 2 – интерпретационные профили; 3 – гранитоиды Богдоулинского массива (работы выполнены с помощью гравиметра CG-5)

приближенно согласуются с контурами массива, выявленными в процессе геологического картирования. Но в большинстве случаев денудационный срез неглубок и на земной поверхности обнажаются лишь апикальные части небольших по площади выступов кровли плутона. В такой ситуации в пределах общей отрицательной аномалии, соответствующей всему интрузивному телу, выделяются локальные минимумы высокого порядка, совпадающие с выходами гранитов. Установление подобных закономерностей в совокупности с данными денситометрии о пониженной плотности гранитов позволяет однозначно выделять аномалии, связанные с интрузиями.

Если тело кислых интрузивных пород не имеет выходов на поверхность, «гранитную» природу аномалий можно установить с той или иной достоверностью, исключая возможность ее соответствия другим перечисленным выше объектам. При этом необходимо использовать всю информацию, содержащуюся в геологических картах.

Методика выделения аномалий, связанных с гранитоидами Богдоулинского массива

После того, как интересующие нас аномалии опознаны на гравиметрической карте, их необходимо количественно отделить от аномалий-помех, имеющих другую природу. При отсутствии дополнительной информации о пространственной форме геологических объектов (а мы имеем дело с такой ситуацией) эта операция возможна лишь в случае, если аномалии различаются по ширине и горизонтальным градиентам, то есть по своим спектрам. В нашем примере «полезные» аномалии являются локальными. Минимумы, наблюдаемые над депрессиями, соизмеримы с ними по ширине. При взаимном положении таких аномалий разделить их невозможно. Однако совместный

анализ гравиметрических и геологических карт показывает, что подобное наложение сравнительно редко. Чаще встречается такая ситуация, когда минимумы, связанные с гранитами, осложнены региональным фоном, который создается особенностями глубинной структуры и плотностными неоднородностями вмещающих пород. Аномалии регионального фона более широки и пологи по сравнению с «гранитными». Поэтому предположение о линейном изменении регионального фона по коротким профилям, секущим интересующие нас гравитационные минимумы поперек их вытянутости, видимо, не вызовет больших погрешностей [16].

Региональный фон определялся для каждого поперечного профиля отдельно как прямая наклонная линия, асимптотически приближающаяся к пологим участкам графика, которые наблюдаются на значительном удалении от центральных частей минимумов [13; 16]. Эта прямая линия проводилась как касательная в область максимумов, окружающих исследуемую аномалию (см. рис. 3). Значения локальной аномалии в каждой точке профиля выводились графически, то есть измерялось вертикальное расстояние от линии регионального фона до графика аномалии Буге. Полученные таким образом значения способствовали затем выяснению характера изменения регионального фона по продольному профилю. В данном случае региональный фон определялся как плавная кривая, проходящая через его значения в точках пересечения продольного профиля с поперечными. Система взаимно увязанных таким способом профилей использована для построения схемы локальных аномалий силы тяжести, связанных с гранитами Богдоулинского массива (рис. 4).

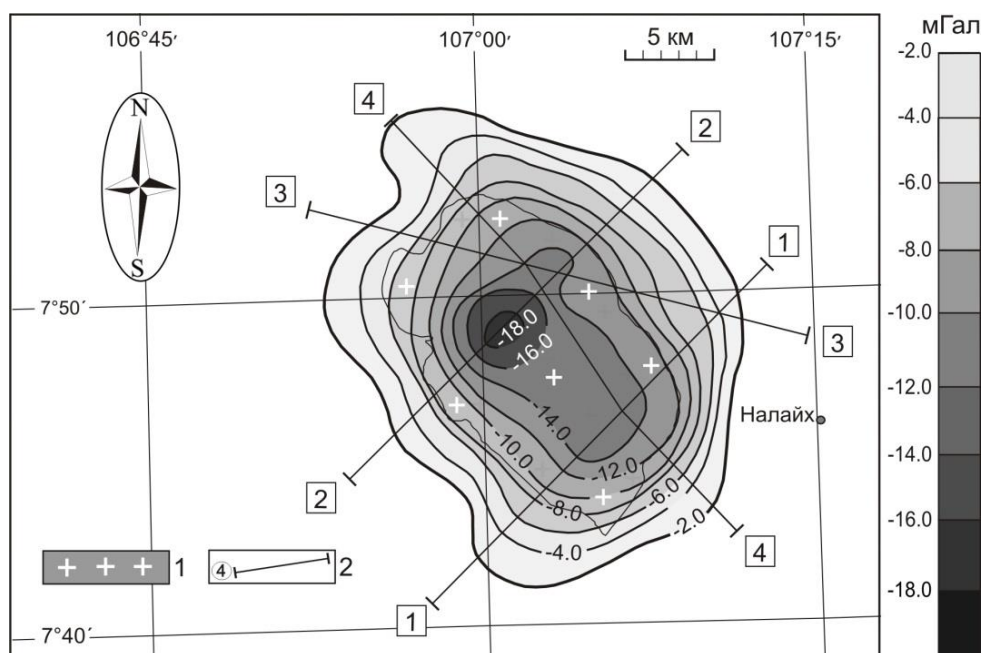


Рис. 4. Схема локальных (остаточных) аномалий Богдоулинского гранитного массива (в относительном уровне, сечение изоаномал через 2 мГал): 1 – гранитоиды; 2 – интерпретационные профили. Цифры в квадратах – номера интерпретационных профилей

Интенсивность локальных отрицательных аномалий в районе Богдоулинского массива достигает до 18–20 мГал. Результаты интерпретации локальных гравитационных аномалий (см. рис. 4) вдоль профилей от-

ражены на интерпретационных разрезах (рис. 5) и составленной на их основе схеме мощности гранитоидов Богдоулинского массива (рис. 6).

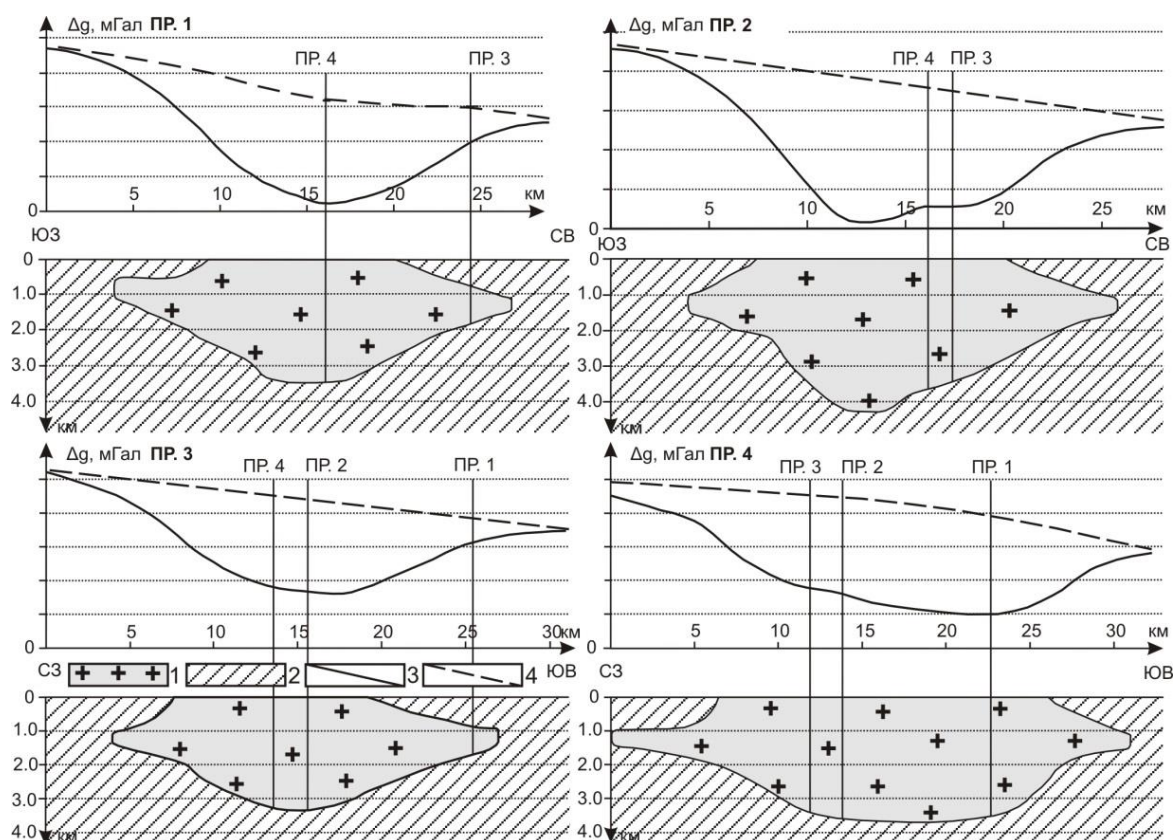


Рис. 5. Геолого-геофизические разрезы вдоль интерпретационных профилей Богдоулинского гранитного массива: 1 – гранитоиды массива; 2 – вмещающие породы; 3 – графики аномалий силы тяжести в редукции Буге; 4 – графики регионального фона. Вертикальные линии – точки взаимного пересечения интерпретационных профилей

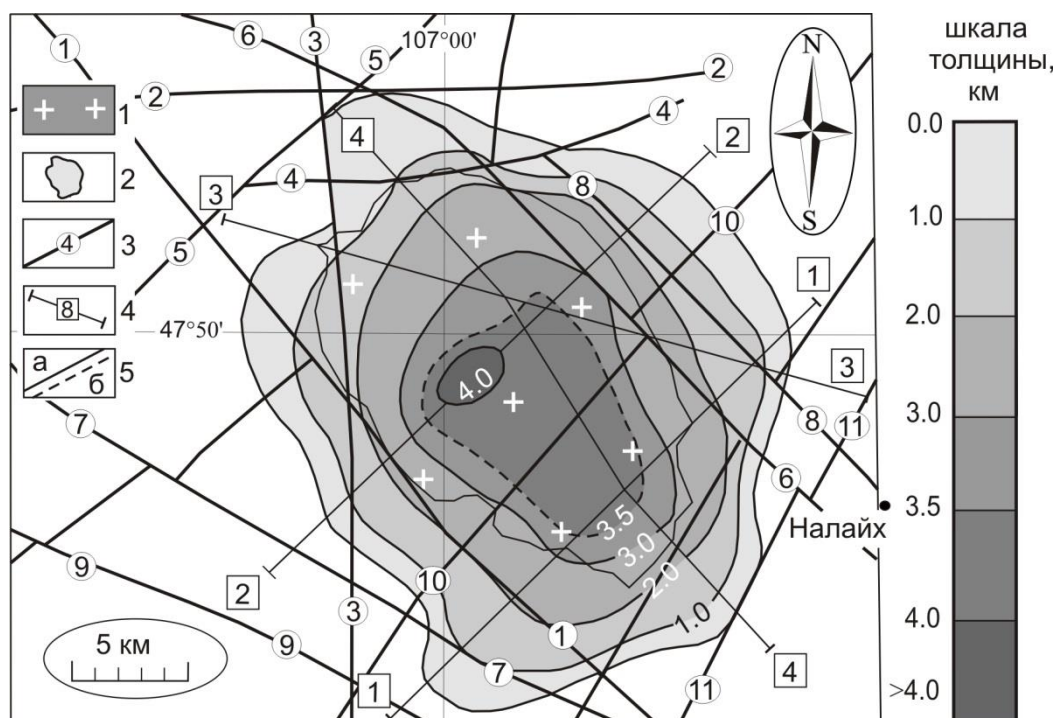


Рис. 6. Геолого-геофизическая модель глубинного строения (схема изолиний мощности (толщины) Богдоулинского гранитного массива): 1 – выходы гранитоидов; 2 – площадь проекции массива на земную поверхность; 3 – крупные разломы, установленные по геологическим данным, цифры в кружках – номера и наименования разломов (условные обозначения см. на рис. 2); 4 – интерпретационные профили, цифры в квадратах – номера профилей; 5 – изолинии мощности (толщины) гранитоидов: а – основные, б – дополнительные

Применение описанной выше методики не исключает возможности существенных искажений выделяемых локальных минимумов. В ряде случаев такие минимумы могут содержать неучтенные влияния неоднородностей фундамента (например, тел диоритов и базитов). Поэтому в отдельных местах возможно преуменьшение мощности гранитоидов, т.е. полученные при интерпретации оценки этого параметра нужно рассматривать как его минимально допустимые значения.

Методика и результаты количественной интерпретации аномалий силы тяжести

Приближенное представление о форме и размерах гранитоидных интрузий можно получить методом подбора моделей, гравитационное влияние которых согласуется с выделенными аномалиями силы тяжести. Естественно, при этом должны быть учтены информация о плотности интрузий и вмещающих пород, геологические данные о местоположении выходов гранитов на земную поверхность [16]. Метод подбора заключается, как известно, в последовательном построении ряда моделей и в решении прямой задачи гравиметрии для каждой из них. Количественная интерпретация гравитационных аномалий осуществлялась с помощью программы полуавтоматизированной инверсии декомпенсационных аномалий при аппроксимации тел ограниченными по простиранию горизонтальными призмами с вертикальными сечениями, имеющими форму многоугольников [20]. Последующие приближения строятся с учетом результатов сравнения гравитационного влияния предыдущей мо-

дели с наблюдаемым полем. Способы изменения формы и размеров моделирующего интрузию тела при каждом приближении выбираются, по сути дела, интуитивно, на основании опыта интерпретатора и общих физических представлений о соотношении между добавляемыми либо убираемыми массами и их гравитационными влияниями. Подбор имеет смысл вести до того варианта, когда отличия влияния модели от наблюдаемой аномалии станут равными погрешностям съемок либо меньше их [16].

В нашем случае, когда аномалии над телами гранитов имеют сложную форму, наиболее приемлемыми являются трехмерные модели. После подбора всех поперечных сечений по обнаженным частям массива производились расчеты по осевому продольному профилю с использованием полученных сведений о ширине массива. Известными также считались и вертикальные мощности плутона в точках пересечения осевого профиля с подобранными ранее сечениями. Мы пытались подобрать по каждому сечению наиболее компактное распределение масс с минимальным количеством апофиз. По результатам интерпретации построена схема толщины массива. Линии равных глубин проведены путем интерполяции с учетом хода изоаномал на картах остаточных аномалий.

Результаты интерпретации гравитационных аномалий отражены на интерпретационных разрезах (рис. 5) и составленной на их основе схеме глубинного строения массива (рис. 6). На участках, где установлены крутые контакты массива с вмещающими породами, предполагается наличие разрывных нарушений.

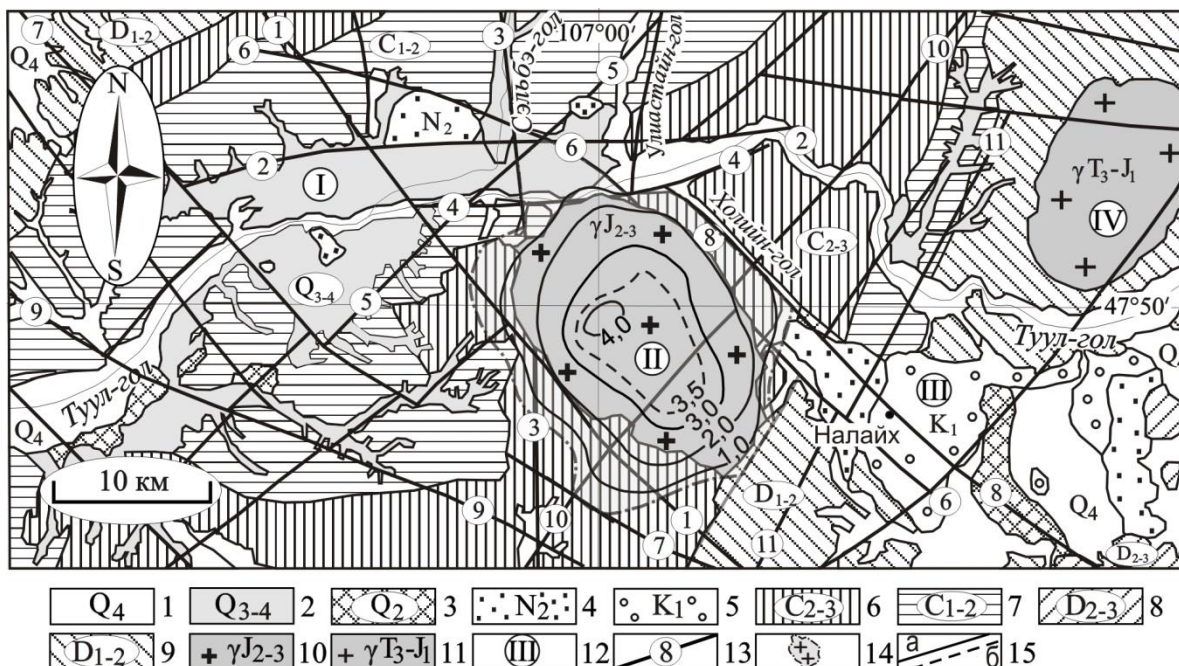


Рис. 7. Геологическая схема района с моделью глубинного строения Богдоулинского гранитного массива: (условные обозначения 1–13 см. на рис. 2); 14 – площадь проекции массива на земную поверхность; 15 – изолинии мощности (толщины) гранитоидов: а – основные, б – дополнительные

Эта схема (рис. 6) дает самое общее представление о строении плутона и данные о морфологических особенностях погребенной части плутона.

Судя по интерпретационным разрезам и схеме мощности, Богдоулинский массив имеет сложное «клавишное» строение и представлен блоками, направления простираения которых, совпадают с простираем разрывных нарушений, ограничивающих массив (см. рис. 2, 5–6). Массив имеет форму овала с размерами 30×15÷20 км, его длинная ось направлена в северо-западном направлении и совпадает с направлением Шижирбогдинского, Сэльбинского, Баянхошуунского, Сонгиноульского и Хонхоринского глубинных разломов, которые ограничивают Богдоулинский массив с юго-запада и северо-востока. Северное ограничение массива контролируется Северо- и Южно-Тольской системой крупных тектонических нарушений, южное – Дэндэйским глубинным разломом (см. рис. 6). Центральная часть массива пересечена региональным Хундайским разломом, параллельным Дэндэйскому и расположенному в 10–12 км севернее его. Максимальная мощность гранитоидов, судя по результатам интерпретации гравиметрических данных, составляет 4,5 км (см. рис. 5, профиль 2). Необходимо заметить, что указанная величина является, по-видимому, минимальной оценкой, поскольку концы линий интерпретационных профилей (как уже было сказано выше) во избежание возможных ошибок в определении уровня регионального фона были выведены на сравнительно пологие участки максимумов, расположенных в области распространения пород фундамента.

К северу от Южно-Тольского разлома мощность (толщина массива) составляет, по-видимому, не более 500 метров, что соответствует интенсивности отрицательной аномалии и качественно подтверждает

результаты определения формы Богдоулинского массива, северное ограничение которого совпадает с системой Тольских глубинных разломов (см. рис. 2, 5–7).

Выводы

Анализ поля силы тяжести в редукции Буге, полученного в результате выполненной наземной площадной гравиметрической съемки, позволил определить форму и размеры Богдоулинского гранитоидного массива, частично расположенного в пределах г. Улан-Батора. Максимальная толщина тела составляет 4,5 км, площадь проекции на земную поверхность – около 500 км² (при площади выходов, равной 200 км²). Гравиметрические данные подтвердили блоковое строение массива, границы которого контролируются крупными разломами, установленными по геологическим данным [16]. Интерпретируя гравитационные аномалии, мы в большинстве случаев получаем довольно грубое представление о глубинной структуре гранитных плутонов, даже при известном недостатке плотности и учете положения их выходов на земную поверхность. При этом достоверно устанавливаются глубина центра тяжести, площадь поперечного сечения, общая асимметричность плутона. Ориентируясь на варианты компактного распределения масс, можно создать представление о минимально возможной площади кровли и определить уплощенность по вертикали (если она резко выражена). По локальным аномалиям высокого порядка вполне уверенно выделяются выступы кровли плутонов, не вскрытые денудацией. Однако выводы по глубине кровли подземных частей интрузий отличаются чрезвычайной неточностью. Скорее, здесь следует говорить лишь об оценке по порядку. Составленная нами схема строения толщины плутона дает лишь общее представление о глубинной структуре интрузии. В ряде случаев на ней, видимо, сильно искажены глубины и пропущены боковые апо-



физы, вытянутые в горизонтальном направлении.

Сведения о форме и размерах массива, как и о его структурном положении, могут быть использованы при инженерно-сейсмологических работах по уточнению сейсмической опасности отдельных участков города Улан-Батора (по крайней мере, для районов, расположенных восточнее р. Сэльбэ-гол (см. рис. 7), русло которой совпадает с глубинным Сэльбинским разломом). Для этих районов, судя по результатам интерпретации гравиметрических данных, можно ожидать уменьшения этой опасности. Кроме того, данные о морфологии подземной части плутона могут быть

полезны при заключении о перспективах его металло-генической специализации, признаки которой в отношении отдельных минералов связаны с особенностями его формы и установлены геолого-геофизическими и геохимическими исследованиями [19].

Таким образом, хотя гравиметрия дает сравнительно небольшое количество достоверных сведений о форме и размерах гранитных интрузий, эта информация достаточно важна для геолога и пока не может быть получена никакими другими методами с равными затратами средств.

Статья поступила 11.11.2014 г.

Библиографический список

1. Байкало-Монгольский трансект / Ю.А. Зорин, В.Г. Беличенко, Е.Х. Турутанов, В.В. Мордвинова, В.М. Кожевников, П. Хозбаяр, О. Томуртоого, Н. Арвисбаатар, Ш. Гао, П. Дэвис // Геология и геофизика. 1994. № 7–8. С. 94–110.
2. Бат Б. Оценка и прогнозирование устойчивости и геологической среды к природным и техногенным воздействиям территории города Улан-Батора: автореф. дис. ... канд. геол.-минерол. наук: 25.00.08. Иркутск, 2004. 30 с.
3. Бат-Элзий Ш., Дорж Д. Отчет о гидрогеологических и геофизических работах, проведенных в 1982–1986 гг. Улан-Батор: Фонды ПИНИИ водного хозяйства МНР, 1988. 232 с.
4. Батсайхан Ц. Инженерно-геофизическая оценка сейсмической опасности грунтов территории г. Улан-Батора: автореф. дис. ... канд. геол.-минерол. наук: 25.00.10. Иркутск, 2006. 19 с.
5. Бямба Ж., Арвисбаатар Н., Турутанов Е.Х. Глубинное строение Монголии. В сб.: Геология Монголии. Т. IV. Тектоника литосферных плит. Улан-Батор: Изд-во АДМОН, 2012. С. 403–425.
6. Вахромеев Г.С. К вопросу формирования физико-геологических моделей месторождений полезных ископаемых МНР. В сб.: Вопросы геологии и металлогении Восточной Монголии. Улан-Батор: Изд-во МонГУ, 1979. С. 236–244.
7. Геология Монгольской Народной Республики. Том I. Стратиграфия / под ред. Н.А. Маринова, Л.П. Зоненшайна, В.А. Благодравова. М.: Недра, 1973. 582 с.
8. Геолого-структурные особенности Бурульжунтинской и Налайхинской впадин Центральной Монголии / П. Дугараа, Н. Арвисбаатар [и др.]. В сб.: Вопросы геологии и полезных ископаемых Центральной и Восточной Монголии. Улан-Батор, 1982. 13 с.
9. Глубинное строение Улан-Баторской впадины по гравиметрическим данным (Монголия) / Н. Арвисбаатар, Е.Х. Турутанов, Б. Буянтогтох, Д. Цэндсүрэн // Вестник ИрГТУ. 2013. № 5. С. 53–61.
10. Дугараа П., Арвисбаатар Н. Петроплотностная характеристика пород Жанчивланского рудного узла и его окрестностей. В сб.: Вопросы геологии и полезных ископаемых Центральной и Восточной Монголии. Улан-Батор, 1982. С. 11–13.
11. Малышев Ю.Ф. Глубинное строение, геодинамика и сейсмичность в области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского подвижных поясов // Тихоокеанская геология. 1998. № 2. С. 18–27.
12. Мезозойская и кайнозойская тектоника и магматизм Монголии / отв. ред. А.Л. Яншин. М., 1975. 308 с.
13. Нефедьев М.А. Строение и оценка перспектив рудных полей и месторождений Бурятии по геофизическим данным (на примере Еравнинского и Северо-Байкальского рудных районов). Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2003. 205 с.
14. Сейсмическое районирование Улан-Батора / под ред. С.Е. Медведева, М., 1971. 206 с.
15. Сейсмичность и районирование сейсмической опасности территории Монголии / В.И. Джурик, А.В. Ключевский, С.П. Серебрянников, В.М. Демьянович, Ц. Батсайхан, Г. Баяраа. Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2009. 420 с.
16. Турутанов Е.Х. Морфология мезозойских гранитных плутонов Монголии по гравиметрическим данным. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. 223 с.
17. Филиппова И.Б. Хангайский синклиниорий, основные черты строения и развития // Геотектоника. 1969. № 5. С. 76–78.
18. Центральный Сибирско-Монгольский трансект / Ю.А. Зорин, В.Г. Беличенко, Е.Х. Турутанов [и др.] // Геотектоника. 1993. № 3. С. 3–19.
19. Khishigsuren S. Bogd Uul granite pluton and related mineralization Central Mongolia // Минеральные ресурсы Монголии в XXI веке: тез. докл. в конф., посвящ. 75-летию подписания договора между Монголией и Россией о сотрудничестве в области геологии. 2006. С. 108–109.
20. Webring M. Semi-automatic Marquardt inversion of gravity and magnetic profiles // U.S. Geological Survey Open-File Report OF 85-122. Denver: USGS, 1985. 48 p.