



УДК 550.831(517)

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.29.114>

## Геологическое строение Тольской впадины (Монголия) по гравиметрическим данным

Е. Х. Турутанов

*Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия*

Б. Буянтогтох, Б. Тэнгис

*Центр астрономии и геофизики МАН, Улаанбаатар, Монголия*

**Аннотация.** В настоящее время существует определенный недостаток данных о строении кайнозойских впадин, расположенных на территории Монголии. В частности, о мощности кайнозойских осадков и о морфологии поверхности кристаллического фундамента под ними. Сведения, приведенные в статье, позволят частично восполнить этот пробел. Тольская кайнозойская впадина приурочена к Хэнтэйскому прогибу, слагающему центральную часть Хэнтэйского свода Хангай-Хэнтэйской складчатой системы Монголии. Она имеет субширотную ориентировку (в крест простирания пород докайнозойского фундамента) и плановые размеры  $(30-35) \times (4-10)$  км. По результатам площадной гравиметрической съемки среднего масштаба, выполненной авторами на территории впадины, составлена карта аномалий силы тяжести в редукции Буге. Работы проведены с помощью гравиметров Scintrex Autograv CG-5 по стандартной методике. Высоты пунктов наблюдения определялись приборами Trimble 5700 GPS. Поправка за рельеф введена в радиусе 200 км. Количественная интерпретация гравитационных аномалий осуществлялась с помощью 3D-программы полуавтоматизированной инверсии аномалий силы тяжести при аппроксимации тел ограниченными по простиранию горизонтальными призмами с вертикальными сечениями, имеющими форму многоугольников. На основе интерпретации гравиметрических данных построена схема изопакит осадочных отложений. Фундамент впадины имеет блоковое строение. Он осложнен двумя котловинами – западной и восточной (Сэльбинской), разделенными поперечным поднятием вмещающих толщ. Судя по результатам интерпретации, мощность осадочных отложений в западной котловине составляет 150 м, в Сэльбинской может достигать 400 м. Результаты работ могут быть полезными для уточнения параметров сейсмической активности г. Улаанбаатара.

**Ключевые слова:** аномалия силы тяжести, впадина, осадочные отложения.

**Для цитирования:** Турутанов Е. Х., Буянтогтох Б., Тэнгис Б. Геологическое строение Тольской впадины (Монголия) по гравиметрическим данным // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2019. Т. 29. С. 114–128. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.29.114>

### Введение

Величина мощностей кайнозойских отложений во впадинах свидетельствует об интенсивности тектонических движений, следовательно, и о величине растяжения земной коры. Глубина и ширина впадин отражают объемную деформацию жесткой части литосферы, в которой развиваются листри-

ческие разломы. Вариации размеров впадин, видимо, обусловлены изменением толщины жесткой части литосферы, что может быть сопряжено с высокой степенью разогрева ее нижней части. Тольская впадина находится в зоне высокой сейсмической активности, и на ее территории расположен г. Улаанбаатар, с которым связан значительный промышленный потенциал Монголии. Поскольку сейсмическая активность зависит от физических и геометрических свойств грунтов [Турутанов, 2010], определение особенностей формы и размеров линзы осадочных отложений Тольской впадины является достаточно значимой научно-практической задачей.

До недавнего времени Хэнтэйский свод относился к районам со слабой сейсмичностью, однако в 1987 г. А. Л. Стромом в его пределах была обнаружена первая сейсмогенная деформация, расположенная в непосредственной близости к Тольской впадине. Это был взбросо-сдвиг в правом борту долины Гунжин в пределах Гунжинского разлома, который является одним из элементов активизированного фрагмента западной границы Хангай-Хэнтэйской складчатой зоны. Позже, на основе изучения параметров дислокации обнаруженной структуры в результате проведенных здесь комплексных сейсмогеологических исследований, был определен сейсмический потенциал сейсмогенерирующих структур. Геолого-геофизические исследования зоны Гунжинского сейсмогенного разлома позволили установить по крайней мере два разрывообразующих палеоземлетрясения, происшедших в позднеплейстоцен-голоценовое время. Фрагмент этого разлома, вскрывшийся в результате двух палеоземлетрясений, прослеживается в 25 км от северной окраины г. Улаанбаатара в северо-восточном направлении (зона Гацууртынского разлома). Оказалось, что на основе установленных амплитуд деформаций и их протяженности магнитуда генерируемых землетрясений может превышать 7.0. Таким образом, впервые для центральных районов Монголии отмечено наличие сейсмогенерирующих зон с высоким сейсмическим потенциалом [Оценка сейсмической опасности ... , 2012].

Выявленные с помощью гравиметрии особенности строения Тольской впадины в совокупности с данными о разломах и другими материалами могут быть использованы для уточнения представлений о ее месте в общей системе депрессий Монголо-Сибирской горной страны и о ее сейсмическом потенциале.

### **Основные черты геологического строения Тольской впадины**

Центрально-Азиатский складчатый пояс (ЦАСП), в пределах которого находится Тольская впадина, объединяет разновозрастные складчатые области [Геодинамика формирования каледонид ... , 2003]. Эти структуры образовались в результате аккреции, связанной со встречным движением континентальной (Сибирской) и океанической (Палеоазиатский океан) литосферных плит. Тольская впадина (рис. 1) приурочена к западной границе Хангай-Хэнтэйской геосинклинальной зоны герцинского возраста и является одной из тектонических структур в южной части Хэнтэйского сводового поднятия складчатой системы Центральной Монголии.

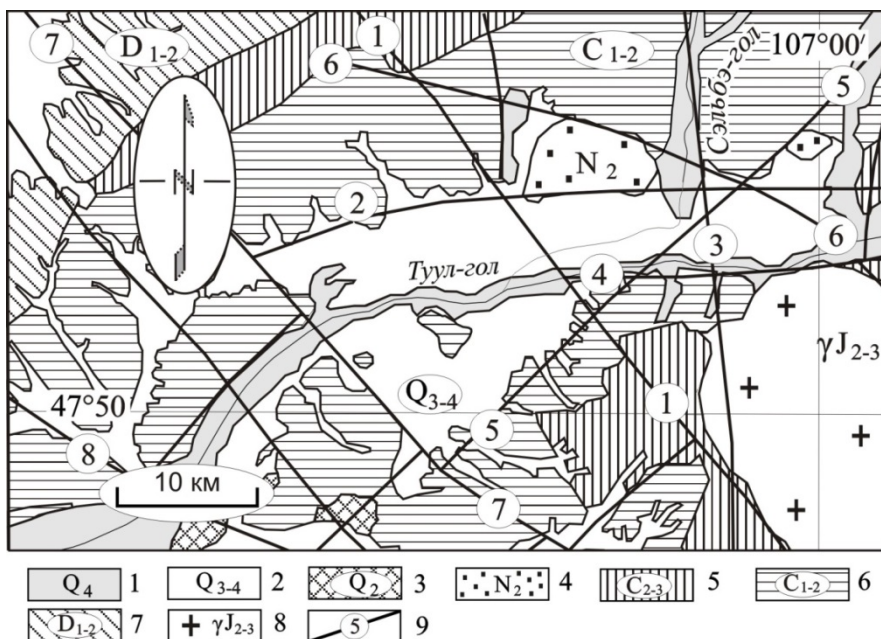


Рис. 1. Геологическая схема района г. Улаанбаатара (по [Геология Монгольской Народной ... , 1973], с изменениями). Четвертичные отложения: 1 – аллювиальные отложения: галька, гравий, песок, супесь, суглинок, глины; 2 – аллювиально-пролювиальные отложения: глыбы, дресва, щебень, галька с суглинисто-супесчаным 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, слабоцементированные брекчии, конгломераты, гравелиты, суглинки; 5 – средний – верхний карбон: разнозернистые песчаники с прослойками глинистых сланцев, редко гравелиты, конгломераты, алевролиты, гравелиты; 6 – нижний – средний карбон: глинистые сланцы с прослойками разнозернистых песчаников, алевролиты, кремнистые алевролиты, редко прослойки яшм; 7 – нижний – средний девон. Горихинская свита, нижний горизонт: песчаники с чередующимися прослойками алевролитов и сланцев, алевро-песчаный кварцит, редкие линзы основных эффузивов; 8 – Богдоулинский гранитный 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; 9 – крупные разломы, установленные по геологическим данным. Цифры в кружках – названия разломов: 1 – Шижирбогдоулинский, 2 – Северо-Тольский, 3 – Сэльбинский, 4 – Южно-Тольский, 5 – Гацууртынский, 6 – Баянхошуунский, 7 – Сонгиноульский, 8 – Тургэнийский

Герциниды, образование которых завершилось к началу позднего палеозоя [Геохронология магматических пород ... , 2008], в свою очередь облекаются структурами индосинид, тяготеющими к территориям, пограничным с Китайской платформой. Следовательно, современная геодинамическая позиция района Тольской впадины сформировалась в результате коллизии Сибирского континента с разновозрастными структурами обрамлявших его океанических бассейнов [Геодинамика формирования каледонид ... , 2003].

*Древний фундамент* района представлен породами терригенной формации верхнего рифея – нижнего кембрия [Lindsay, 1996], характеризующими нижнепалеозойский структурно-формационный этаж [Lamb, Vadarch, 1997, 2001], состоящий главным образом из осадочно-метаморфических пород (различные сланцы, гравелиты, песчаники с прослоями яшм и туффигов). Комплекс осложнён внедрившимися в мезозое (см. рис. 1) гранитоидными интрузиями [Şengör, Natal'in, Burtman, 1993].

*Каменноугольные отложения*, которые слагают более половины площади территории, особенно широко развиты в этом районе. Они имеют морское происхождение, представлены в основном песчаниками и алевролитами и нередко характеризуются флишоидным строением. В их нижней части иногда встречаются яшмоиды, туфогенные породы и эффузивы среднего состава [Tectonic framework of ... , 1996]. Каменноугольные отложения подразделяются на две литологически отличные толщи и, соответственно, на те же два возрастных комплекса, входящих в состав хэнтэйской серии девонско-каменноугольного возраста [Kurimoto, 1997]. Нижняя, главным образом песчанико-алевролитовая, толща иногда с горизонтами туфогенных и эффузивных пород часто характеризуется ритмичным строением и слагает значительные площади на территории Улаанбаатарского района (см. рис. 1).

*Кайнозойский* структурно-формационный этаж представлен красноцветной терригенной формацией континентального типа и терригенной формацией континентального типа четвертичной системы. Нижняя часть третичных отложений состоит из конгломерата в песчано-глинистом слабосцементированном состоянии. Выше конгломератов залегают прослои светло-серых глин с линзами слабосцементированных песчаников и гравийных конгломератов. Пестроцветная толща сменяется красноцветной свитой в нижней части, представленной конгломератами и прослоями грубых песчаников, в верхней – суглинками с галькой и гравием. Кайнозойские отложения в целом слабо дислоцированы и имеют общее падение слоёв на юго-восток под небольшими ( $\leq 18^\circ$ ) углами.

*Неогеновые отложения нерасчлененные*. К ним относятся небольшие поля этих отложений, развитые в долине р. Тола, на юго-западе г. Улаанбаатара, 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 о том, что, как и стратифицированные образования этого возраста, они сложены главным образом красными и пестрыми глинами, песками, песчаниками, конгломератами, галечниками, гравелитами, алевролитами, обнаруживающими быструю смену состава как в разрезе, так и по простиранию. Породы залегают практически горизонтально и имеют мощность первые сотни метров [Геология Монгольской Народной ... , 1973].

*Четвертичные отложения* пользуются повсеместным распространением на территории Улаанбаатарского района. По генезису среди них выделяются коллювиальные, делювиально-дефлюкционные, делювиально-

солифлюкционные, элювиальные, ледниковые и вулканогенные образования [Там же]. Аллювиальные отложения в долине р. Тола в районе г. Улаанбаатара достигают 30 м. По данным инженерно-геологических исследований, участок долины р. Тола в пределах Тольской (Улаанбаатарской) депрессии преимущественно сложен аллювиальными отложениями, состоящими из гальки, гравия, песка, супеси, суглинка и глины. В основном же осадочные образования самой впадины выполнены аллювиально-пролювиальными отложениями, включающими глыбы, дресву, щебень, гальку с суглинисто-супесчаным заполнением, и делювиально-пролювиальными отложениями [Геология Монгольской Народной ... , 1973]. К северному борту впадины приурочены верхнеэоцен-плиоценовые отложения, представленные красноцветными, иногда желтовато-пестрыми глинами, алевритовой галькой, песками, слабоцементированными брекчиями, конгломератами, гравелитами и суглинками. Наиболее крупные выходы этих образований отмечены между выходом палеозойских гранитов и правым берегом р. Сэльбэ-гол (см. рис. 1).

*Мезозойские гранитоиды.* Породы Богдоулинского массива относятся к гипабиссальной гранит-лейкократовой ассоциации редкометалльных литий-фтористых плюмозитовых гранитов и представлены гранит-порфирами с биотитом и мусковитом, мелко-среднезернистыми гранитами с биотитом и мусковитом, редко с аляскитом, средне-крупнозернистыми порфировидными гранитами с биотитом, аляскитом, иногда щелочными. По минералогическому составу граниты относятся к малораспространенным средне-верхнеюрским биотитовым, лейкократовым и аляскитовым гранитам харалгайского комплекса.

### **Гравиметрическая съемка и методика интерпретации полученных данных**

Для изучения внутренней структуры Тольской (Улаанбаатарской) впадины и оценки мощности заполняющих ее осадочных отложений проведена среднемасштабная гравиметрическая съемка. Площадь работ составила 574 км<sup>2</sup>. При этом выставлено 1143 координатных пункта наблюдения. Высоты пунктов наблюдения определялись приборами Trimble 5700 GPS. Точность гравиметрических наблюдений составила  $\pm 0,04$  мГал, погрешность вычисления высот –  $\pm 0,22$  м. Точность и густота сети наблюдений отвечают техническим требованиям [Турутанов, 2010], предъявляемым к гравиметрическим съёмкам масштаба 1:100 000. Как видно из схемы аномалий силы тяжести в редукции Буге (с поправкой на гравитационное влияние рельефа в радиусе 200 км), фиксируемая аномалия в районе слияния рек Баян-гол и Тола осложнена поднятием и выходом пород фундамента (рис. 2), который разделяет депрессию на две части. В западной и восточной частях впадины отмечаются минимумы силы тяжести разной интенсивности. Наблюдаемая заливообразная аномалия в западной части располагается на площади сплошного развития речных отложений, и ее можно рассматривать как отражение увеличения мощности осадочных образований. Интенсивная аномалия силы тяжести в восточной части впадины (район устья р. Сэльбэ-гол)

может быть связана с линзами неогеновых и четвертичных отложений, развитых в её эпицентре (см. рис. 2). Осадочные отложения являются наименее плотными из всех геологических образований района исследований, поэтому должны создавать наиболее интенсивные отрицательные аномалии силы тяжести. Так как дополнительные сведения об их мощности почти отсутствуют, единственным критерием выделения локальных гравитационных минимумов, связанных с линзами осадков, является приуроченность отрицательных аномалий силы тяжести к площадям выходов этих отложений. Такая приуроченность характерна для Тольской впадины, на что указывают результаты сопоставления гравиметрических материалов с данными по многочисленным буровым скважинам, имеющимся в долине р. Тола [Геология Монгольской Народной ... , 1973]. Средняя плотность осадочных отложений Тольской впадины принята по данным результатов многочисленных денситометрических измерений [Турутанов, 2010] и составляет  $2120 \text{ кг/м}^3$ .

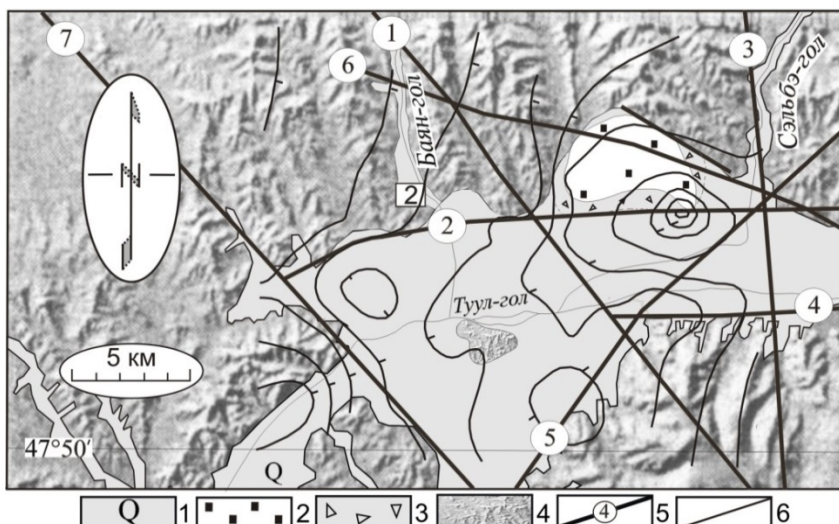


Рис. 2. Схема аномалий Буге Тольской впадины (в относительном уровне, сечение изоаномал через 2 мГал): 1–5 (см. усл. обозн. на рис. 1); 6 – изоаномалы силы тяжести, мГал

Вмещающие впадину породы представлены в основном нижнекарбонowymi песчаниками, сланцами и алевролитами. Величина плотности коренных пород с учетом подстилающих их гранитоидов принимается по [Турутанов, 2010] и в среднем равна  $2630 \text{ кг/м}^3$ .

#### Методика выделения гравитационных аномалий, связанных с линзами осадков

Количественное выделение локальных (остаточных) аномалий силы тяжести выполнялось по интерпретационным профилям в предположении о линейном изменении регионального фона вдоль них (рис. 3). Линии регионального фона проводились как касательные к максимумам, окружающим

депрессию, либо к участкам выполаживания графиков аномалий Буге [Healey, Miller, 1963; Ipern, 1973; Howard, 1982; Godson, 1983]. Точки касания максимумов и этих линий были расположены в пределах полосы шириной 2–3 км, которая окружает с внешней стороны зону сплошного развития кайнозойских кластических отложений. При таком подходе соответствие выделяемого минимума аномалий силы тяжести линзам осадков представляется наиболее правдоподобным.

Этот способ выделения остаточных аномалий силы тяжести не исключает возможности существенных искажений выделяемых локальных минимумов. В ряде случаев такие минимумы могут содержать неучтённые влияния неоднородностей фундамента (например, тел гранитов или сиенитов, которые создают отрицательные аномалии). Поэтому в отдельных местах возможно преувеличение мощности кайнозойских осадков, т. е. полученные при интерпретации оценки этого параметра нужно рассматривать как его максимально возможные значения.

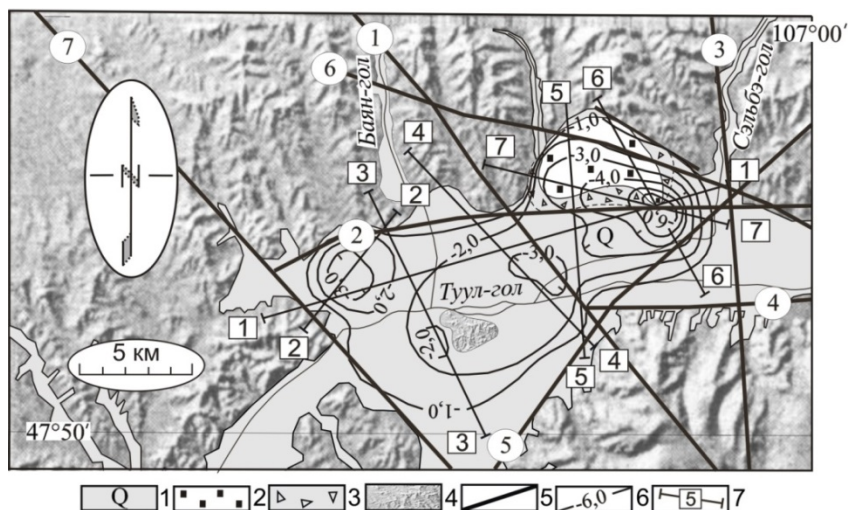


Рис. 3. Схема локальных аномалий Тольской впадины (в относительном уровне, сечение изоаномал через 1 мГал): 1–5 (см. усл. обозн. на рис. 1); 6 – изолинии локальных аномалий силы тяжести, мГал; 7 – интерпретационные профили. Цифры в квадратах – номера интерпретационных профилей

Интенсивность локальных отрицательных аномалий силы тяжести в районе Тольской впадины достигает до  $-7$  мГал. Ширина впадины составляет около 10 км, что многократно превышает ожидаемую величину мощности (первые сотни метров) осадочных отложений. Таким образом, линзы осадков можно аппроксимировать уплощенными призмами, верхние границы которых совпадают с дневной поверхностью. В подобных условиях гравитационное влияние (вертикальная производная аномального потенциала) любого элементарного объема линзы осадков сравнительно быстро убывает при удалении от него точки наблюдения в горизонтальном направлении, поэтому для расчётов мощности аномалиеобразующего тела в каждом пунк-

те наблюдения вполне приемлемым является решение одномерной обратной задачи гравиметрии для контактной поверхности (для плоского слоя). Результаты решения этих одномерных задач были использованы при построении 3D-моделей с помощью программы инверсии гравитационного поля в качестве первоначального (нулевого) приближения. При интерпретации гравиметрических данных зоны градиента изопахит предположительно интерпретировались нами как разломы, а интерполяция глубин в промежутках между расчетными профилями выполнена с учетом хода изоаномал на карте остаточных аномалий силы тяжести.

### Результаты интерпретации гравиметрических данных

Результаты интерпретации гравитационных аномалий отражены на интерпретационных разрезах (рис. 4) и составленной на их основе структурной схеме района работ (рис. 5).

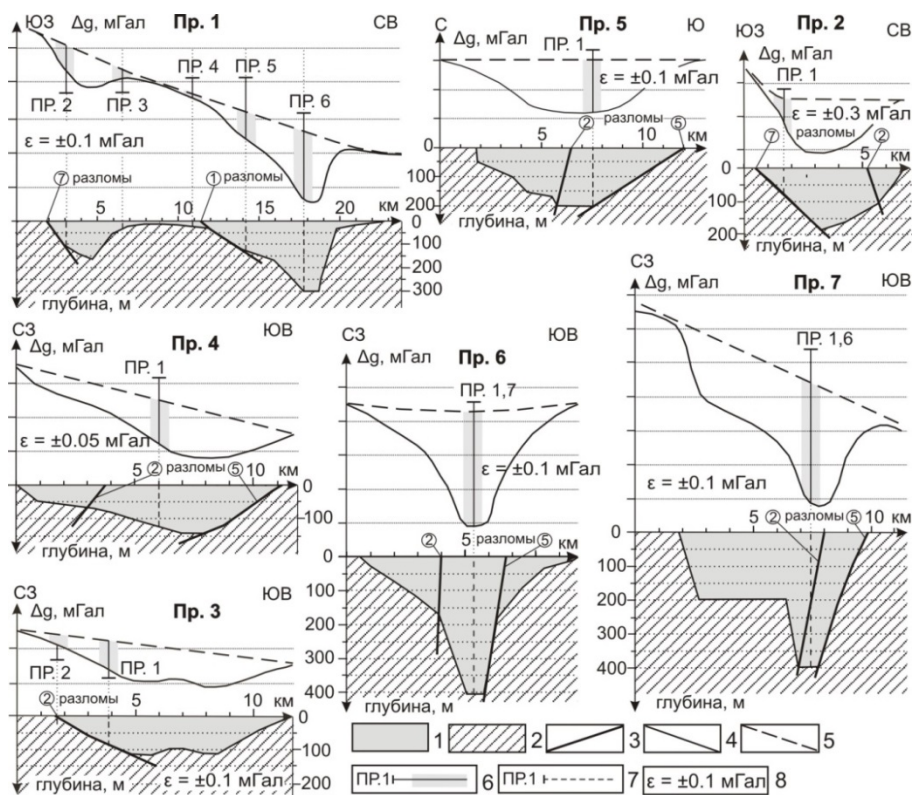


Рис. 4. Интерпретационные разрезы Тольской впадины: 1 – осадочные отложения; 2 – вмещающие породы; 3 – крупные разломы, установленные по геологическим данным (цифры в кружках – названия разломов (названия разломов см. на рис. 1); 4 – графики остаточных аномалий силы тяжести в редукции Буге; 5 – графики регионального фона; 6 – точки пересечения и значения величины регионального фона в местах пересечения интерпретационных профилей; 7 – точки пересечения и значения мощности (толщины) гранитоидов в местах пересечения интерпретационных профилей (положение профилей см. на рис. 3); 8 – среднеквадратические погрешности подбора линзы осадков на профилях



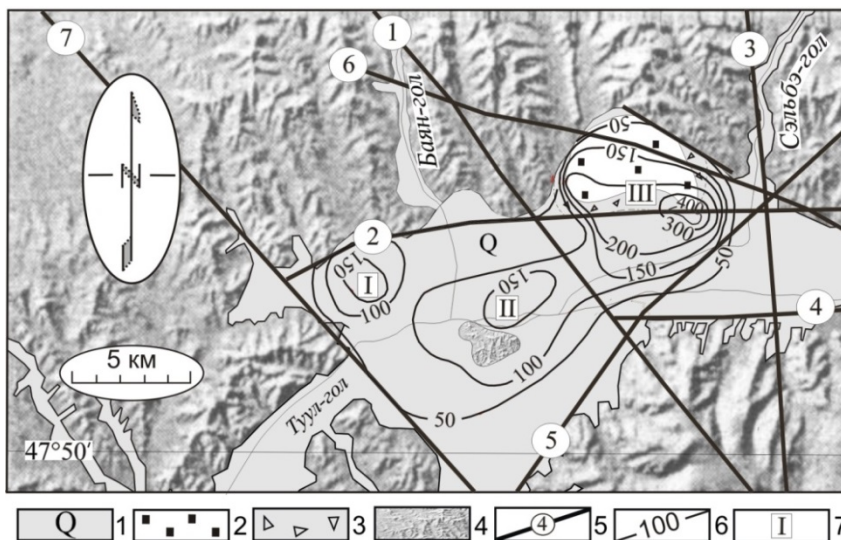


Рис. 5. Схема изобахит осадочных отложений Тольской впадины: 1–4 (см. усл. обозн. на рис. 1); 5 – крупные разломы, установленные по геологическим данным. Цифры в кружках – названия разломов: 1 – Шижирбогдоулинский, 2 – Северо-Тольский, 3 – Сэльбинский, 4 – Южно-Тольский, 5 – Гацууртынский, 6 – Баянхошуунский, 7 – Сонгиноульский, 8 – Тургэнийский. 6 – изобахиты осадочных отложений, м; 7 – внутренние котловины Тольской впадины: I – Западная, II – Центральная, III – Сэльбинская

Количественная интерпретация гравитационных аномалий осуществлялась с помощью 3D-программы полуавтоматизированной инверсии аномалий силы тяжести при аппроксимации тел ограниченными по простиранию горизонтальными призмами с вертикальными сечениями, имеющими форму многоугольников [Webring, 1985]. Последующие приближения построены с учётом результатов сравнения гравитационного влияния предыдущей модели с наблюдаемым полем [Eggler, 1967; Fairhead, Walker, 1977; High-resolution gravity ... , 2008]. Структурная схема даёт общее представление о строении впадины и глубине до кристаллического фундамента. В районах, где установлены крутые контакты осадков с вмещающими породами, предполагается наличие разрывных нарушений. На схеме изоглубин осадков (см. рис. 5) показаны изобахиты кайнозойских отложений в Тольской (Уланбаатарской) впадине и разломы, выделенные по геологическим данным и частично отражающиеся в гравитационном поле. В результате гравиметрических исследований Тольской впадины получены количественные характеристики мощности осадочных отложений этой структуры и данные о морфологических особенностях погребённой части кристаллического фундамента.

Судя по интерпретационным разрезам и схеме мощности осадочных отложений, Тольская впадина имеет сложное блоковое строение (см. рис. 1–5), и по своей внутренней структуре она разделяется на две неравные части (западную и восточную), представленные котловинами, длинные оси которых расположены под углом  $90^\circ$  друг к другу (согласно простиранию главных разрывных нарушений).

Западная часть Тольской депрессии в своём юго-западном окончании ограничена зоной тектонических нарушений, установленных по геологическим данным. Здесь на основе гравиметрических исследований выявлена котловина (Западная) в форме овала размером  $4 \times 3,5$  км, мощность осадков в которой составляет около 150 м. Большая ось котловины ориентирована в северо-западном направлении вдоль западного борта впадины – в крест простирания Тольской депрессии (согласно основному направлению простирания пород докайнозойского фундамента) и контролируется Сонгиноульской разломной структурой той же ориентировки. Можно полагать, что западный борт этой котловины является западным ограничением самой Тольской впадины (см. рис. 5). Восточная часть Тольской впадины (см. рис. 1 и 5) представляет собой вытянутую в северо-восточном направлении, сложностроенную асимметричную структуру, состоящую из двух неодинаковых по мощности осадков мульдообразных прогибов фундамента (котловин). Мощность осадочных отложений в этих прогибах убывает в направлении с северо-востока на юго-запад (в сторону выхода фундамента, расположенного в юго-западном окончании восточной части впадины).

Северо-восточное окончание этой структуры (Сэльбинская котловина), эпицентральная часть мощности осадков которой расположена в устье р. Сэльбэ-гол, является самым крупным структурным элементом не только восточной части, но и Тольской впадины в целом (см. рис. 5). Она имеет форму овала размером  $6 \times 8$  км, длинная ось которого протягивается в северо-западном направлении и совпадает с ориентировкой Баянхошуунского регионального разлома, который одновременно является и северо-восточным ограничением этой котловины. Юго-восточное ограничение этой котловины, судя по геолого-геофизическим данным, контролируется Гацууртыгским региональным разломом (см. рис. 1 и 5), который продолжается далеко на юго-восток и ограничивает Тольскую впадину с этого фланга. В целом Сэльбинская котловина расположена в треугольнике, ограниченном Шижирбогдинским, Баянхошуунским и Гацууртыгским региональными разломами. Максимальная мощность отложений в этой структуре, по результатам интерпретации геолого-геофизических данных, составляет 400 м и пространственно приурочена к Северо-Тольскому разлому, который пересекает вышеуказанный треугольник. В состав осадочной толщи входят аллювиальные, аллювиально-пролювиальные и верхненеоген-плиоценовые отложения (см. рис. 1 и 5).

В 5 км к юго-западу от Сэльбинской котловины расположен второй прогиб фундамента (Центральная котловина) в форме овала размером в плане  $7 \times 4$  км, длинная ось которого вытянута поперек главных разломных зон и сочленяется с Сэльбинской котловиной в районе Шижирбогдинского разлома. Эпицентральная часть этой мульды имеет размеры  $3,5 \times 2$  км. Мощность осадков в ней, судя по результатам интерпретации, достигает 150 м. Эта часть котловины на юго-западном окончании граничит с выходом фундамента высотой около 50 м, расположенного в пяти километрах к северо-западу от Шижирбогдинского разлома (см. рис. 5).

К востоку от Сэльбинской котловины (см. рис. 5), восточнее Сэльбинского разлома (грабена), оценка мощности рыхлых отложений по гравиметрическим данным затруднительна из-за сильного искажающего влияния Богдоулинского мезозойского гранитного массива, создающего, как и осадочные образования, интенсивную отрицательную аномалию силы тяжести. Методами гравиметрии разделить эти эффекты невозможно. Здесь мощность осадочных отложений определена по данным электроразведочных и буровых работ [Турутанов, 2010] и составляет, по-видимому, не более 30–40 м.

### **Выводы**

Степень изученности геофизическими методами территории Монголии крайне неравномерна и все еще недостаточна. В значительной мере это относится и к гравиметрическим исследованиям. Полученные с помощью гравиметрии количественные данные о структуре кайнозойских впадин дополняют имеющиеся знания об особенностях развития межгорных впадин юга Восточной Сибири и Монголии. Анализ гравитационного поля позволил оценить мощность осадочных отложений и охарактеризовать морфологию поверхности фундамента Тольской (Улаанбаатарской) впадины. Гравиметрические данные выявили блоковое строение фундамента впадины, межблоковые границы которых, как и места прогибов (опусканий), контролируются крупными разломами, установленными по геологическим данным (см. рис. 1, 4, 5). Максимальная мощность осадочных отложений Тольской впадины, судя по результатам интерпретации гравиметрических данных, достигает 400 м.

Подобное строение характерно многим впадинам Улаанбаатарского района, расположенным восточнее изученной депрессии. Для них комплексом геофизических методов установлены аналогичные мульдообразные прогибы фундамента, к части которых приурочены месторождения бурого угля [Геология Монгольской Народной ... , 1973]. Поэтому участки мульдообразных структур, выявленные в пределах Тольской (Улаанбаатарской) депрессии, рекомендуются для проведения общих поисковых работ с применением колонкового бурения в целях выявления месторождений бурого угля. Относительная молодость Тольской впадины позволяет полагать, что сейсмический потенциал этого района может быть достаточно высоким. Поэтому сведения о мощности осадков и морфологии фундамента, вместе со сведениями о разломах, могут быть использованы при инженерно-сейсмологических работах по уточнению сейсмической опасности как отдельных участков впадины, так и г. Улаанбаатара, на территории которого расположена Сэльбинская котловина. Южно-Тольский и Сэльбинский региональные разломы, судя по геолого-геофизическим данным, контролируют положение субширотной тектонической структуры Тольской впадины. Развитие этих структур связано с указанными разломами, которым свойственна и современная сеймотектоническая активность. Ввиду этого район пересечения Сэльбинской и Тольской систем разломов, к которому приурочена, как свидетельствуют гравиметрические данные, максимальная мощность осадочных отложений впадины, может оказаться мощной сейсмогенерирующей структурой.

## Список литературы

- Геодинамика формирования каледонид Центрально-Азиатского складчатого пояса / В. В. Ярмолюк, В. П. Коваленко, В. П. Ковач, И. К. Козаков, А. Б. Котов, Е. Б. Сальникова // Докл. РАН. 2003. Т. 389, № 3. С. 354–359.
- Геология Монгольской Народной Республики. Т. 1: Стратиграфия / под ред. Н. А. Маринова, Л. П. Зоненшайна, В. А. Благодравова. М.: Недра, 1973. 582 с.
- Геохронология магматических пород и специфика формирования позднепалеозойской Южно-Монгольской активной континентальной окраины Сибирского континента / В. В. Ярмолюк, В. И. Коваленко, Е. Б. Сальникова, В. П. Ковач, А. М. Козловский, А. Б. Котов, В. И. Лебедев // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2008. Т. 16, № 2. С. 59–80.
- Оценка сейсмической опасности г. Улан-Батор (Монгольская Народная Республика) по результатам сейсмогеологических исследований / В. С. Имаев, О. П. Смекалин, А. Л. Стром, А. В. Чипизубов, А. А. Сясько // Геология и геофизика. 2012. Т. 53, № 9. С. 1182–1193.
- Турутанов Е. Х.* Строение кайнозойских впадин северо-восточного и юго-западного окончаний Байкальской рифтовой системы по гравиметрическим данным. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2010. 167 с.
- Egglar D. H.* Gravity survey of the Livermore-Tie Siding area, Colorado-Wyoming // Mountain Geol. 1967. Vol. 4, N 3. P. 109–114.
- Fairhead J. D., Walker P.* The geological interpretation of gravity and magnetic surveys over the exposed southern margin of the Galway Granite, Ireland // Geol. J. 1977. Vol. 12, N 1. P. 17–24.
- Godson R. H.* Gravpoiy: A Modification of Three-Dimensional Gravity Modeling Program. U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. 83-346. Denver, 1983. 53p.
- Ipern E. F.* Polynomial Regression from a {Bayesian} Approach // J-AM-STAT-ASSOC. 1973. Vol. 68, N 341. P. 137–143.
- Healey D. L., Miller C. H.* Gravity survey of the Gold Meadows stock, Nevada Test Site, Nye County, Nevada // Geol. Surv. Prof. Paper. 1963. 475 B. P. 64–66.
- High-resolution gravity study of the Gray Fossil Site. (East Tennessee State University. Department of Geosciences, Springfield, Missouri. USA) / J. L. Whitelaw, K. Mickus, M. J. Whitelaw, J. Nave // Geophysics. 2008. Vol. 73, N 2. P. B25–B32.
- Howard D.* Geophysical studies of the Minarets Wilderness and adjacent areas, Madera and Mono counties, California // Geol. Surv. Bull. 1982. Vol. 1516 A. P. 49–72.
- Kurimoto Ch.* The discovery of Late Devonian (Famenian) conodonts in the Bayanhongor area // Geological Survey of Japan Bulletin. 1997. Vol. 48, N 9. P. 487–491.
- Lamb M. A., Badarch G.* Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central Asia; from Continental Assembly to Intracontinental Deformation // Geological Society of America Memoir. 2001. Vol. 194. P. 117–149.
- Lamb M. A., Badarch G.* Paleozoic sedimentary basins and volcanic arc systems of southern Mongolia: New stratigraphic and sedimentologic constraints // International Geology Review. 1997. Vol. 39. P. 542–576.
- Lindsay J. F.* Facies and sequence controls on the appearance of the Cambrian biota in southwestern Mongolia: Implications for the Precambrian-Cambrian boundary // Geological Magazine. 1996. Vol. 133, N 4. P. 417–428.
- Şengör A. M. C., Natal'in B. A., Burtman V. S.* Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia // Nature. 1993. Vol. 364. P. 299–307.
- Tectonic framework of the Bayankhongor area, western Mongolia / Y. Teraoka, M. Suzuki, F. Tungalag, N. Ichinnorov, Y. Sakamaki // Geological Survey of Japan Bulletin. 1996. Vol. 47. P. 447–455.
- Webring M.* Semi-automatic Marquardt inversion of gravity and magnetic profiles // U.S. Geological Survey Open-File Report OF 85-122.

## Geological Structure of the Tolsky Basin (Mongolia) by Gravimetric Data

E. Kh. Turutanov

*Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russian Federation*

B. Buyantogtokh, B. Tengis

*Center for Astronomy and Geophysics of the MAS, Ulaanbaatar, Mongolia*

**Abstract.** The degree of study of geophysical methods in the territory of Mongolia is extremely uneven and still insufficient. This fully applies to gravimetric studies. The information given in this article will partially fill this gap. The quantitative data obtained by means of gravimetry on the structure of the Cenozoic basins will supplement the existing knowledge of the features of the development of the intermontane depressions of the south of Eastern Siberia and Mongolia. The Tolskaya Cenozoic depression is confined to the Khentei trough, which forms the central part of the Khentei arch of the Khangai-Khentei fold system of Mongolia. It has a sub-latitudinal orientation (across the strike of the rocks of the pre-Cainozoic basement) and the planned dimensions of 30–35×4–10 km. Based on the results of an area-based gravity survey of medium scale performed by the authors on the territory of the depression, a map of gravity anomalies in the reduction of the Bug River was compiled. The work was carried out using scintrex autograv CG-5 gravimeters using the standard method. The heights of the observation points were determined by the Trimble 5700 GPS devices. The correction for the relief was introduced within a radius of 200 km. Analysis of the gravitational field made it possible to clarify the structure of the upper part of the earth's crust, the thickness of loose deposits and the morphology of the surface of the basement of the basin. Based on the interpretation of gravimetric data, geological and geophysical sections were constructed, intersecting the depression in various directions, and the isopachite scheme of sedimentary deposits. A quantitative interpretation of the gravitational anomalies was carried out with the help of a 3-D program for the semi-automated inversion of gravity anomalies when the bodies are approximated by horizontal prisms with vertical sections that have the form of polygons. The foundation of the hollow has a block structure. It is complicated by two basins: western and eastern (Selbinskaya), divided by a transverse uplift of the enclosing strata. Judging by the results of the interpretation of the anomalies of gravity, the thickness of sedimentary deposits in the western basin is 150 m, in the Selbinskaya can reach 400 m. The relative youth of the Tolsky basin allows us to understand that the seismic potential of this region can be quite high. According to geological and geophysical data, the South-Tolsky and Selbinsky regional faults control the position of the sub-latitudinal tectonic structure of the Tolsky basin. The development of these structures is associated with these faults, which are also characteristic of modern seismotectonic activity. Therefore, the area of intersection of the Selbin and Tolsky fault systems, to which, according to gravimetric data, is confined, the maximum thickness of the sedimentary deposits of the basin can be a powerful seismogenerating structure.

**Keywords:** anomaly of gravity, basin, sedimentary deposits.

**For citation:** Turutanov E.Kh., Buyantogtokh B., Tengis B. Geological Structure of the Tolsky Basin (Mongolia) by Gravimetric Data. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2019, vol. 29, pp. 114–128. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.29.114> (in Russian)

### References

Yarmolyuk V.V., Kovalenko V.P., Kovach V.P., Kozakov I.K., Kotov A.B., Sal'nikova E.B. Geodinamika formirovaniya kaledonid Tsentral'no-Aziatskogo skladchatogo poyasa. *Doklady RAN*, 2003, vol. 389, no. 3, pp. 354-359.

Marinova O.N., Zonenshaina L.P., Blonravova V.A. (eds.). *Geologiya Mongolskoi Narodnoi Respubliki. Vol. 1. Stratigrafiya* [Geology of the Mongolian People's Republic. Vol. 1. Stratigraphy]. Moscow, Nedra Publ., 1973, 582 p. (in Russian)

Yarmolyuk V.V., Kovalenko V.I., Sal'nikova E.B., Kovach V.P., Kozlovskii A.M., Kottov A.B., Lebedev V.I. Geokhronologiya magmaticallykh porod i spetsifika formirovaniya pozdnepaleo-zoiskoi Yuzhno-Mongol'skoi aktivnoi kontinentalnoi okrainy Sibirskogo kontinenta. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya*, 2008, vol. 16, no. 2, pp. 59-80.

Imaev V.S., Smekalin O.P., Strom A.L., Chipizubov A.V., Syas'ko A.A. Otsenka seismicheskoi opasnosti g.Ulan-Bator (Mongolskaya Narodnaya Respublika) po rezultatam seismogeologicheskikh issledovaniy. *Geologiya i geofizika*, 2012, vol. 53, no. 9, pp. 1182-1193.

Turutanov E.Kh. *Stroenie kainozoiskikh vpadin severo-vostochnogo i yugo-zapadnogo okonchaniy Baikal'skoi riftovoi sistemy po gravimetricheskim dannym* [The structure of the Cenozoic basins of the northeastern and southwestern endings of the Baikal rift system according to gravimetric data]. Irkutsk, IRGTU Publ., 2010, 167 p. (in Russian)

Eggler D.H. Gravity survey of the Livermore-Tie Siding area, Colorado-Wyoming. *Mountain Geol.*, 1967, vol. 4, no. 3, pp. 109-114.

Fairhead J.D., Walker P. The geological interpretation of gravity and magnetic surveys over the exposed southern margin of the Galway Granite, Ireland. *Geol. J.*, 1977, vol. 12, no. 1, pp. 17-24.

Godson R.H. Gravpoiy: A Modification of Three-Dimensional Gravity Modeling Program. U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. 83-346. Denver, 1983, 53 p.

Ipern E.F. Polynomial Regression from a {Bayesian} Approach. *J-AM-STAT-ASSOC*, 1973, vol. 68, no. 341, pp. 137-143.

Healey D.L., Miller C.H. Gravity survey of the Gold Meadows stock, Nevada Test Site, Nye County, Nevada. *Geol. Surv. Profess. Paper*, 1963, vol. 475 B, pp. 64-66.

Whitelaw J.L., Mickus K., Whitelaw M.J., Nave J. High-resolution gravity study of the Gray Fossil Site [East Tennessee State University. Department of Geosciences, Springfield, Missouri, USA]. *Geophysics*, 2008, 73, no. 2, pp. B25-B32.

Howard D. Geophysical studies of the Minarets Wilderness and adjacent areas, Madera and Mono counties, California. *Geol. Surv. Bull.*, 1982, vol. 1516 A, pp. 49-72.

Kurimoto Ch. The discovery of Late Devonian (Famenian) conodonts in the Bayanhongor area. *Geological Survey of Japan Bulletin*, 1997, vol. 48, no. 9, pp. 487-491.

Lamb M.A., Badarch G. Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central Asia; from Continental Assembly to Intracontinental Deformation. *Geological Society of America Memoir.*, 2001, vol. 194, pp. 117-149.

Lamb M.A., Badarch G. Paleozoic sedimentary basins and volcanic arc systems of southern Mongolia: New stratigraphic and sedimentologic constraints. *International Geology Review*, 1997, vol. 39, pp. 542-576.

Lindsay J.F. Facies and sequence controls on the appearance of the Cambrian biota in southwestern Mongolia: Implications for the Precambrian-Cambrian boundary. *Geological Magazine*, 1996, vol. 133, no. 4, pp. 417-428.

Şengör A.M.C., Natal'in B.A., Burtman V.S. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia. *Nature*, 1993, vol. 364, pp. 299-307.

Teraoka Y., Suzuki M., Tungalag F., Ichinnorov N., Sakamaki Y. Tectonic framework of the Bayankhongor area, western Mongolia. *Geological Survey of Japan Bulletin*, 1996, vol. 47, pp. 447-455.

Webring M. Semi-automatic Marquardt inversion of gravity and magnetic profiles. *U.S. Geological Survey Open-File Report OF 85-122*.

*доктор геолого-минералогических наук,  
главный научный сотрудник, заведующий  
лаборатория комплексной геофизики  
Институт земной коры СО РАН  
Россия, 664033, г. Иркутск,  
ул. Лермонтова, 128  
тел.: 8(3952)42-87-92  
e-mail: tur@crust.irk.ru*

***Буянтогтох Базарин***

*аспирант*

*Институт земной коры СО РАН  
научный сотрудник  
Центр астрономии и геофизики МАН  
P.O.-788, Ulaanbaatar-  
210613, Mongolia  
тел.: 976-11-458024  
e-mail: bazaryn\_b@yahoo.com*

***Тэнгис Бадма***

*аспирант*

*Институт земной коры СО РАН  
научный сотрудник  
Центр астрономии и геофизики МАН  
P.O.-788, Ulaanbaatar-210613, Mongolia  
тел.: 976-11-458024*

*Doctor of Sciences (Geology and  
Mineralogy), Chief Researcher, Head  
Laboratory Complex Geophysics  
Institute of the Earth's Crust SB RAS  
128, Lermontov st., Irkutsk, 664033,  
Russian Federation  
tel.: 8(3952)42-87-92  
e-mail: tur@crust.irk.ru*

***Buyantogtokh Bazarin***

*Postgraduate*

*Institute of the Earth's Crust SB RAS  
Research Scientist  
Center for Astronomy and Geophysics  
of MAS  
PO-788, Ulaanbaatar-210613, Mongolia  
tel.: 976-11-458024  
e-mail: bazaryn\_b@yahoo.com*

***Tengis Badma***

*Postgraduate*

*Institute of the Earth's Crust SB RAS  
Research Scientist  
Center for Astronomy and Geophysics  
of MAS  
P.O.-788, Ulaanbaatar-210613, Mongolia  
tel.: 976-11-458024*

**Дата поступления:** 17.05.2019

**Received:** May, 17, 2019