



УДК 550.831(517)

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.25.121>

Геологическое строение Налайхинской угленосной впадины (Монголия)

Е. Х. Турутанов

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск

Б. Буянтогтох, Б. Тэнгис

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск

Центр астрономии и геофизики МАН, г. Улаанбаатар

Аннотация. Налайхинская впадина (котловина) мезозойского заложения расположена в пределах Хэнтэйской складчатой области Монголии и находится на пересечении Хонхоринской системы грабенов и Дэндэйского глубинного разлома. Впадина имеет субширотную ориентировку и заполнена нижнемеловыми отложениями зунбаянской свиты. По результатам площадной гравиметрической съемки среднего масштаба, впервые выполненной на территории Налайхинской угленосной впадины (Монголия), получена карта аномалий силы тяжести в редукции Буге. Работы выполнены с помощью гравиметров Scintrex Autograv CG-5 по стандартной методике. Высоты пунктов наблюдения определялись приборами Trimble 5700 GPS. Среднеквадратическая точность вычисления гравитационных аномалий и густота сети наблюдений отвечают техническим требованиям, предъявляемым к гравиметрическим съемкам масштаба 1:100 000. Поправка за рельеф введена в радиусе 200 км. Для оценки мощности осадков выполнена количественная интерпретация гравитационных аномалий, которая осуществлялась методом подбора трехмерных моделей с помощью инверсии остаточных гравитационных аномалий Буге способом наименьших квадратов при аппроксимации геологических тел ограниченными по простиранию трехмерными призмами с вертикальными сечениями, имеющими форму многоугольников. В результате интерпретации установлено, что фундамент депрессии имеет блоковое строение и расчленен разломами северо-восточного и северо-западного направления. Максимальная мощность осадочных отложений в котловине составляет 800 м. Сведения о мощности осадков и морфологии фундамента могут быть использованы для уточнения перспектив эксплуатации Налайхинского угольного месторождения.

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

Для цитирования: Турутанов Е. Х., Буянтогтох Б., Тэнгис Б. Геологическое строение Налайхинской угленосной впадины (Монголия) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2018. Т. 25. С. 121–136. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.25.121>

Введение

В статье рассмотрено геологическое строение Налайхинской угленосной впадины, полученное в результате интерпретации гравиметрических данных. Особенности строения этой впадины вызывают закономерный интерес не только с научной, но и с практической точки зрения, поскольку с ней связано

промышленное месторождение бурых углей. Результаты интерпретации гравитационных аномалий могут быть использованы для оценки перспектив поисков новых промышленных месторождений и рудопроявлений углей.

Основные черты геологического строения района Налайхинской впадины

Налайхинская впадина (котловина) мезозойского заложения расположена в пределах Хэнтэйской складчатой области, между горстовыми блоковыми структурами гранитоидов Богдоулинского и Горихинского массивов. Она находится в 35 км к юго-востоку от Тольской (Улаанбаатарской) депрессии на пересечении Хонхоринской системы грабен и Дэндэйского глубинного разлома, которые контролируют эту структуру. Впадина имеет субширотную ориентировку и заполнена нижнемеловыми отложениями, залегающими с угловым несогласием на терригенных образованиях девона и карбона Хэнтэйской серии (рис. 1). Вмещающие ее среднепалеозойские отложения собраны в крутые изоклинальные складки преимущественно северо-восточного простирания [Геология Монгольской Народной ... , 1973]. 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 глубокую грабен-синклинальную структуру северо-восточного простирания. Северо-западный борт этой структуры 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 мульдообразных структур (прогибов фундамента). Часть этих структур – угленосные: Цайдамская, Нурст-Хонхорская, Бурулжугтинская, Табун-Субайская и Баганурская, с которой связано Баганурское буроугольное месторождение [Геология Монгольской Народной ... , 1973]. К Налайхинской депрессии приурочено Налайхинское месторождение бурых углей, поэтому геологическое строение впадины вызывает закономерный интерес.

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

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

Каменноугольные отложения, которые слагают 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 [Tectonic framework of ... , 1996]. В пределах центральной части Хэнтэйской горной страны каменноугольные отложения подразделяются (так же 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 [Геология Монгольской Народной ... , 1973]. Нижняя, главным образом песчанико-алевролитовая, толща, иногда с горизонтами туфогенных и эффузивных пород, часто характеризуется ритмичным строением. Она слагает значительные площади в окрестностях г. Улаанбаатара (рис. 1). Разрезы нижней толщи изучены по обоим склонам долины р. Улиастайн-гол, в долине 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. Тола севернее Налайха и на северных склонах массива Богдоул (рис. 1). Они представлены темными кремнисто-глинистыми алевролитами и мелкозернистыми песчаниками, ритмично (150–200 м) чередующимися с мощными пачками яшм и туффитов [Kurimoto, 1997]. 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 прослои (до 5 м) яшм, туфов, изредка известняков. Самые верхние толщи, представляющие переслаивание песчаников и алевролитов, обнажены на северной окраине Улаанбаатара. Здесь в линзе известняков, залегающих среди песчаников, обнаружены обильные остатки мшанок. Видимая мощность нижней толщи в районе Улаанбаатара колеблется от 400 до 1400 м. К востоку, в окрестностях Улаанбаатара и в междуречье Туул-гол и Тэрэлжийн-гол, мощность верхней толщи составляет 1200–1500 м [Геология Монгольской Народной ... , 1973].

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.

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 состоянии. Выше конгломератов залегает прослой светло-серых глин с линзами слабосцементированных песчаников и гравий-

ных 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 падение слоев на юго-восток под небольшими ($\leq 18^\circ$) углами.

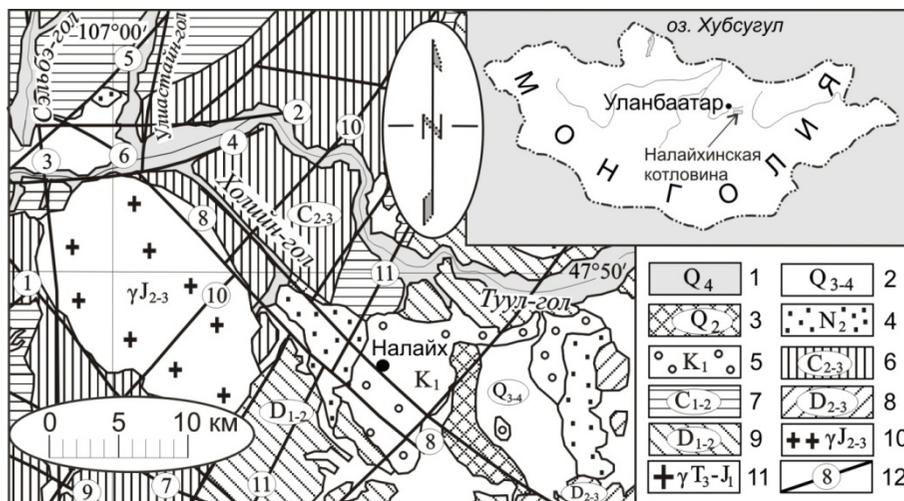


Рис. 1. Геологическая схема района Налайхинской впадины (по [Геология Монгольской Народной ... , 1973] с изменениями). 1 – аллювиальные отложения: галька, гравий, песок, супесь, суглинки, глины; 2 – аллювиально-пролювиальные отложения: глыбы, дресва, щебень, галька с суглинисто-супесчаным заполнением, делювиально-пролювиальные отложения; 3 – отложения древних низких речных террас: глыбы, дресва, щебень, галька с суглинисто-супесчаным заполнением, супесь, суглинки; 4 – верхне-неоген-плиоценовые отложения: красноцветные, иногда желтовато-пестрые глины, алевролитовые гальки, пески, слабоцементированные брекчи, конгломераты, гравелиты, суглинки; 5 – нижний мел. Зунбаянская свита: песчаники с фауной и флорой, алевролиты, конгломераты, гравелиты, глины, аргиллиты; 6 – средний верхний карбон: разнотернистые песчаники с прослойками глинистых сланцев, редко гравелиты, конгломераты, алевролиты; 7 – нижний – средний карбон: глинистые сланцы с прослойками разнотернистых песчаников, алевролиты, кремнистые алевролиты, редко прослойки яшм; 8 – средний – верхний девон. Горихинская свита: желтоватые средне-мелкозернистые песчаники, туфопесчаники, редко линзы яшм, прослойки туффигов; 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 аляски-том, средне-крупнозернистые порфировидные граниты с биотитом, аляски-том, иногда щелочные; 11 – Горихинский массив, жанчивланская формация: мелкозернистые гранит-порфиры, кварцевые жилы, среднезернистые граниты, среднезернистые порфировидные светлые граниты с биотитом, роговой обманкой, средне-крупнозернистые порфировидные граниты с биотитом, биотитовой и роговой обманкой, мусковитом; 12 – крупные разломы, установленные по геологическим данным. Цифры (арабские) в кружках – названия разломов (по [Сейсмичность и районирование ... , 2009]): 1 – Шижир-богдоулинский, 2 – Северо-Тольский, 3 – Сэльбинский, 4 – Южно-Тольский, 5 – Га-цууртынский, 6 – Баянхошуунский, 7 – Сонгиноульский, 8 – Хонхоринский, 9 – Тургэнийский, 10 – Хундайский, 11 – Дэндэйский

Неогеновые отложения нерасчлененные. К ним относятся небольшие поля этих отложений, развитые в долине р. Туул-гол, юго-западе г. Улаанбаатара, на площади Налайхской 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 глинами, песками, песчаниками, конгломератами, галечниками, гравелитами, алевролитами, обнаруживающими быструю смену состава как в разрезе, так и по простиранию [Геология Монгольской Народной ... , 1973]. 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 (по геологическим данным) около 350–400 м [Геология Монгольской Народной ... , 1973].

Четвертичные отложения пользуются повсеместным распространением. По генезису среди них выделяются коллювиальные, делювиально-дефлюкционные, делювиально-солифлюкционные, элювиальные, ледниковые и вулканогенные образования. Аллювиальные отложения в долине р. Туул-гол в районе г. Улаанбаатара достигают 30 м. Участок долины реки Тола, расположенный в пределах Улаанбаатарской депрессии, в основном сложен аллювиальными отложениями, состоящими из гальки, гравия, песка, супеси, суглинка и глины [Геология Монгольской Народной ... , 1973]. В основном же осадочные образования самой впадины выполнены аллювиально-пролювиальными отложениями, включающими глыбы, дресву, щебень, гальку с суглинисто-супесчаным заполнением, и делювиально-пролювиальные отложения. К северному борту впадины приурочены верхне-неоген-плиоценовые отложения, представленные красноцветными, иногда желтовато-пестрыми глинами, алевроитовой галькой, песками, слабоцементированными брекчиями, конгломератами, гравелитами и суглинками. Наиболее крупные выходы этих образований отмечены между выходом палеозойских гранитов и правым берегом р. Сэльбэ-гол.

Структурно-тектоническая позиция района

Тектонический режим развития района в нижнепалеозойский этап соответствовал накоплению осадков в условиях прогибания днища существовавшего здесь морского бассейна [Геология Монгольской Народной ... , 1973]. Средне- и верхнепалеозойский структурно-формационный этаж развивался в условиях продолжающегося прогибания дна уже существующего бассейна [Lindsay, 1996]. В нижнем и среднем девоне сформировались эффузивно-осадочные толщи. Несколько 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 [New data for ... , 1999]. В верхнем палеозое морской режим накопления осадков сменился континентальным. В связи с началом поднятия была образована 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 [Late Neoproterozoic ophiolite ... , 2000]. Заложение более крупных разломов, по-видимому, относится к средне-верхнепалеозойскому этапу развития. Преобладание однонаправленного залегания пород и складок свидетельствует о том, что в среднем палеозое ориентировка поля тектонических напряжений если и менялась, то незначительно.

Многие тектонические нарушения, заложенные ранее, были активизированы – например, Хонхоринский и Шижирбогдоулинский разломы северо-западного простирания, контролирующие структуры Богдоулинского гранитного массива и Налайхинской угленосной депрессии (см. рис. 1). 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. Вероятно, ориентировка сил сжатия в мезозое в целом не отличалась от современной [Геология Монгольской Народной ... , 1973].

Методика исследований

Для изучения внутренней структуры Налайхинской впадины, оценки мощности заполняющих ее осадочных отложений и определения особенностей морфологии кристаллического фундамента авторами проведена среднemasштабная гравиметрическая съемка, площадь которой превышает 350 км² (рис. 2).

Работы выполнены с помощью гравиметров Scintrex Autograv CG-5 по стандартной методике. Среднеквадратическая точность вычисления аномалий ($\epsilon = \pm 0,015$ мГал) и густота сети наблюдений (всего выставлено 600 координатных пунктов) отвечают техническим требованиям, предъявляемым к гравиметрическим съемкам масштаба 1:100 000. Как видно из схемы аномалий силы тяжести в редукции Буге (с поправкой за влияние рельефа в радиусе 200 км), структура гравитационного поля Налайхинской впадины изометрична. Эпицентр аномалии расположен в 8 км к юго-востоку от пос. Налайх, на юго-восточном окончании Хонхоринской системы глубинных разломов. Эта система довольно отчетливо отражается в поле аномалий силы тяжести в редукции Буге (см. рис. 2). Наблюдаемая аномалия охватывает всю территорию впадины, располагается на площади сплошного развития речных отложений, и ее можно рассматривать как отражение увеличе-

ния мощности осадочных образований. Наиболее интенсивная аномалия силы тяжести изометричной формы в центральной части впадины может быть связана с линзами отложений мелового и четвертичного возраста.

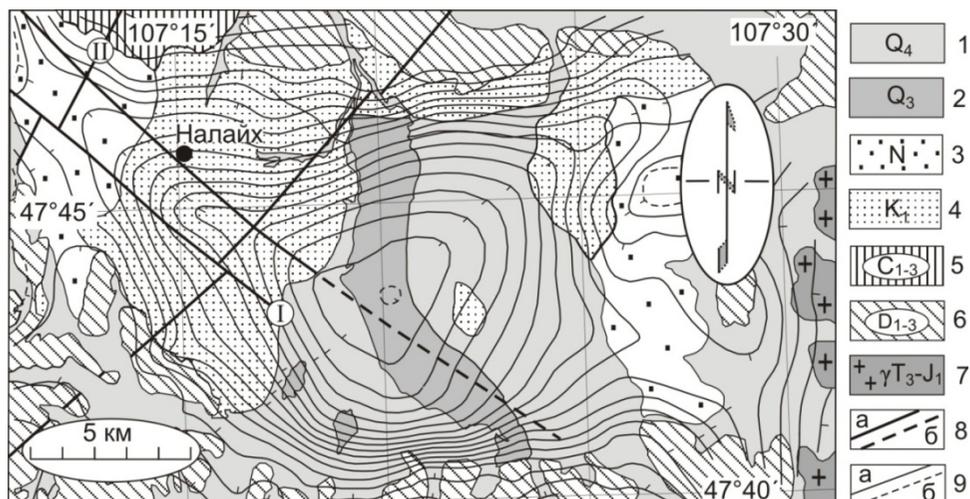


Рис. 2. Схема аномалий Буге Налайхинской впадины (в относительном уровне, сечение изоаномал через 1 мГал): 1–6 – см. усл. на рис. 1; 7 – Горихинский гранитный массив, жанчивланская формация: средне-крупнозернистые порфиоровидные граниты с биотитом, роговой обманкой, мусковитом; 8 – глубинные разломы: а – установленные по геологическим данным (I – Хонхоринский, II – Дэндэйский), б – предполагаемые; 9 – изоаномалы силы тяжести: а – основные, б – дополнительные

Средняя разница плотностных характеристик осадочного чехла и фундамента, оцененная по денсиметрическим замерам и по корреляции сейсмических и гравитационных данных для Налайхинской впадины составляет $-0,35 \text{ г/см}^3$ [Турутанов, 2010] и принята авторами настоящей статьи для инверсии поля силы тяжести.

Выделение гравитационных аномалий, связанных с линзами осадков

Количественное выделение локальных (остаточных) аномалий с целью определения морфологии осадочных образований выполнялось по профилям в предположении о линейном изменении регионального фона (рис. 2–3).

Изучением морфологии геологических тел занимались многие исследователи [Турутанов, 2011, 2012; Nye role of regional ... , 2006; High-resolution gravity ... , 2008; Lind, 1967; Fairhead, Walker, 1977; Rowston, 1965; Pitcher, 1978; Stephanson, Johnson, 1976]. При этом линии регионального фона проводились как касательные к максимумам, окружающим депрессию, либо к участкам выполаживания графиков аномалий Буге [Healey, Miller, 1963; Oclsner, 1963; Biechler, Bonini, 1966; Eggler, 1967; Bankwits, 1975]. Точки касания были расположены в пределах полосы шириной 2–3 км, которая окружает с внешней стороны зону сплошного развития кайнозойских кла-

стических отложений. При таком подходе соответствие выделяемого минимума аномалий силы тяжести линзам рыхлых осадков представляется наиболее правдоподобным [Howard, 1982; Campbell, Jonson, 1982; Pitcher, 1978; Ramodass, Ramaprasada, Himabindu, 2006].



Рис. 3. Схема локальных аномалий Налайхинской впадины (в относительном уровне, сечение изоаномал через 1 мГал): 1–8 – см. усл. на рис. 1, 2; 9 – разлом, предполагаемый по гравиметрическим данным; 10 – изоаномалы силы тяжести: а – основные, б – дополнительные; 11 – буровые скважины; 12 – интерпретационные профили. Цифры в кружках (римские) – номера профилей

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 гранитов или сиенитов, которые создают отрицательные аномалии). Поэтому в отдельных местах вероятно преувеличение мощности кайнозойских осадков, т. е. полученные при интерпретации оценки этого параметра нужно рассматривать как его максимально возможные значения. Интенсивность локальных отрицательных аномалий в районе Налайхинской впадины достигает до -10 мГал (см. рис. 3). Толщина осадков таких впадин, судя по геофизическим данным, не превышает 0,5–1,0 км [Турутанов, 2010]. Горизонтальные же размеры впадины составляют около 15×20 км. Таким образом, линзы осадков являются сильно уплощенными телами, верхние границы которых совпадают с земной поверхностью. В таких условиях гравитационное влияние (вертикальная производная аномаль-

ного потенциала) того или иного элементарного объема линзы осадков сравнительно быстро убывает при удалении от него точки наблюдения в горизонтальном направлении, поэтому для расчетов мощности в каждом пункте наблюдения вполне приемлемым является решение одномерной обратной задачи для контактной поверхности (для плоского слоя) [Halpern, 1973; High-resolution gravity ... , 2008; Stephanson, Johnson, 1976]. При этом наибольшая ошибка может быть получена в прибортовых частях впадины, если там существует разлом с амплитудой, равной максимальной мощности осадков. Точность интерпретации, как показали расчеты, также повышается при удалении от борта впадины. Зоны градиента изопахит интерпретировались как предполагаемые разломы. Интерполяция глубин от расчетных профилей выполнена с учетом хода изоаномал силы тяжести. Для оценки мощности осадков выполнена количественная интерпретация гравитационных аномалий. Использован метод подбора моделей геологических тел с помощью способа наименьших квадратов. Линза осадков моделировалась ограниченными по простиранию трехмерными призмами с вертикальными сечениями, имеющими форму многоугольников [Cordell, Zorin, Keller, 1991; Godson, 1983; Ipern, 1973; Webring, 1985; Турутанов, 2012]. В качестве «нулевого» приближения были использованы результаты решения одномерной обратной задачи гравиметрии для контактной поверхности (в случае плоского слоя).

Результаты интерпретации и их обсуждение

Результаты интерпретации аномалий отражены на интерпретационных разрезах (рис. 4) и составленной на их основе структурной схеме района работ (рис. 5). Эта схема дает общее представление о строении впадины и о глубине до кристаллического фундамента. В районах, где установлены крутые контакты осадков с вмещающими породами, предполагается наличие разрывных нарушений. На схеме показаны изопахиты отложений в Налайхинской впадине и разломы, выделенные по геологическим данным и частично отражающиеся в гравитационном поле. В результате гравиметрических исследований получены количественные характеристики мощности осадочных отложений этой структуры и данные о морфологических особенностях погребенной части кристаллического фундамента. Судя по интерпретационным разрезам и схеме мощности осадочных отложений, фундамент Налайхинской впадины имеет сложное блоковое строение (см. рис. 4). Котловина представляет собой почти изометричную структуру, напоминающую равносторонний треугольник, вершины которого слегка вытянуты вдоль установленных по геологическим и предполагаемым по гравиметрическим данным разломам в северо-восточном, северо-западном и юго-восточном направлениях.

Центральная часть котловины, в которой мощность осадков максимальна и достигает 800 м, расположена в 7 км к юго-востоку от пос. Налайх и приурочена к пересечению глубинных разломов (см. рис. 4, 5). Южный фланг этой котловины, судя по гравиметрическим данным, ограничен раз-

ломом, имеющим субширотную ориентировку, и контролирует контакт осадочных отложений четвертичного возраста с коренными породами, представленными горихинской свитой нижнего – среднего девона. Северный борт котловины, судя по сгущению изоаномал, также ограничен разломом (скрытым, как и в южном борту, осадочными породами), маркирующим контакт ниже-среднедевонских пород с меловыми отложениями впадины. В состав осадочной толщи входят аллювиальные, аллювиально-пролювиальные, верхнеэоцен-плиоценовые и меловые отложения (см. рис. 1). В трех километрах к юго-востоку от центральной части котловины, среди пород четвертичного возраста картируется небольшой (2×1 км) останец нижемеловых пород, маркирующий, судя по гравитационному полю, выступ фундамента.

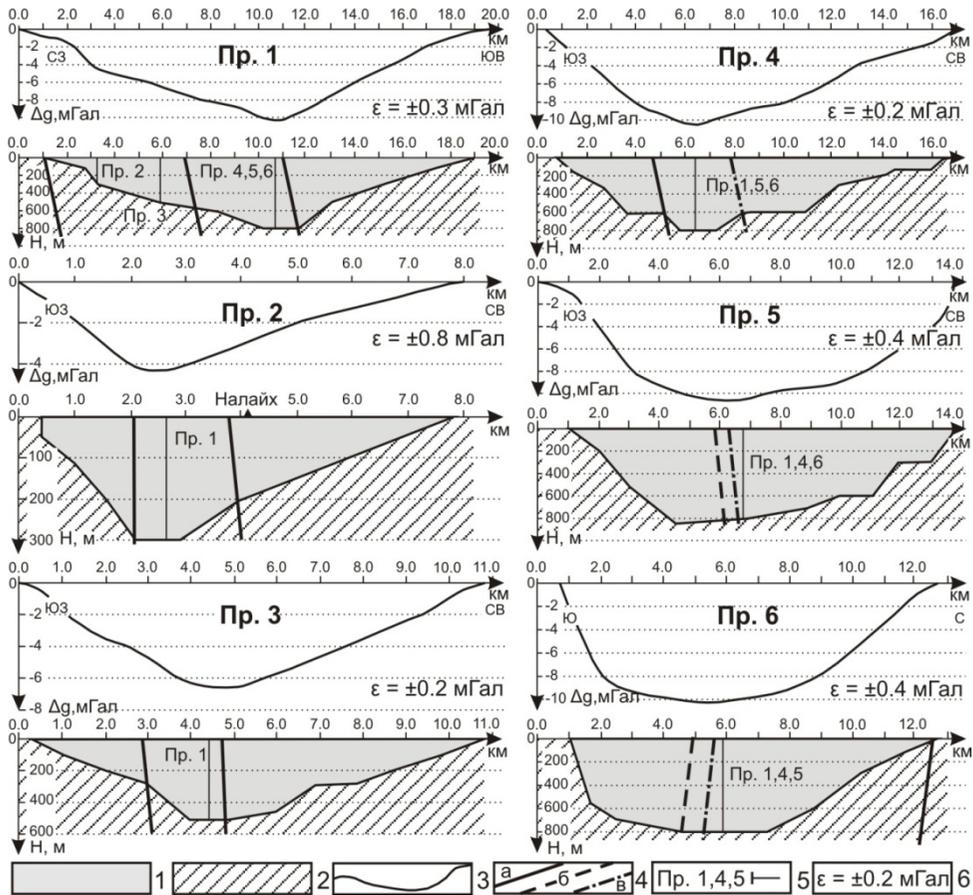


Рис. 4. Интерпретационные разрезы Налайхинской впадины: 1 – осадочные отложения; 2 – вмещающие породы; 3 – графики локальных (остаточных) аномалий силы тяжести; 4 – крупные разломы, установленные по геологическим данным (а), предполагаемые по геологическим (б) и геофизическим (в) данным; 5 – положение интерпретационных профилей на разрезах и их номера; 6 – среднеквадратические погрешности полуавтоматизированного подбора интерпретационных профилей

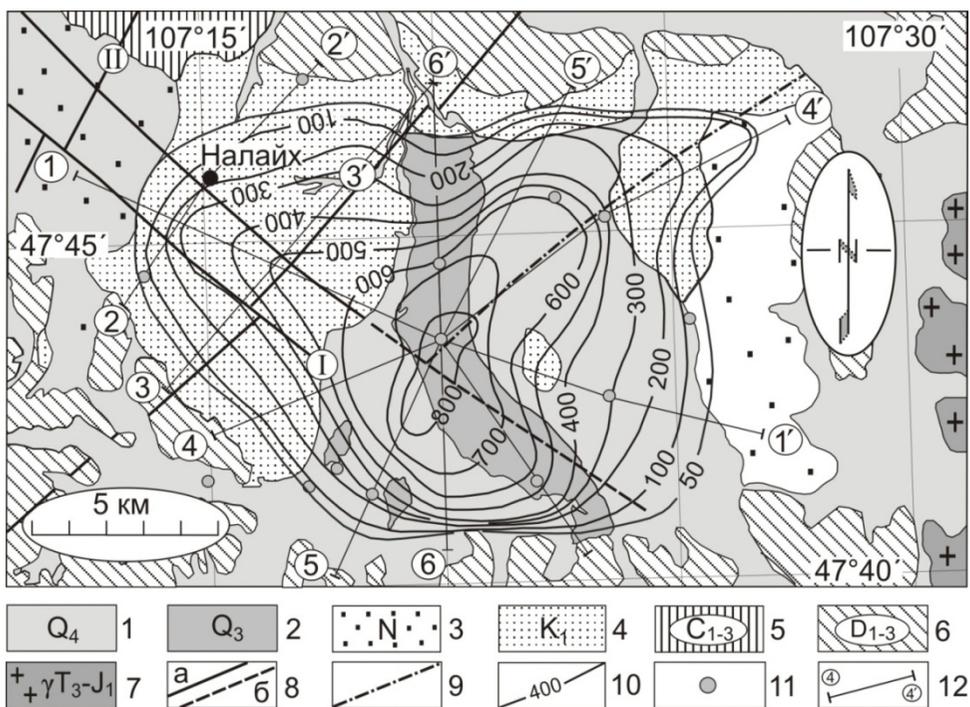


Рис. 5. Схема изопахит осадочных отложений Налайхинской впадины: 1–9 – см. усл. на рис. 1, 3; 10 – изопахиты осадочных отложений, м; 11 – буровые скважины; 12 – интерпретационные профили

В районе пос. Налайх, где расположено промышленное месторождение бурых углей, мощность осадочных отложений котловины составляет 200 м (см. рис. 4, 5, пр. 2).

Выводы

В результате инверсии гравитационных аномалий силы тяжести в редукции Буге впервые построена карта осадочных отложений и охарактеризована морфология поверхности фундамента Налайхинской впадины, с которой связано промышленное месторождение бурых углей. Максимальная мощность осадков, судя по результатам интерпретации гравиметрических данных, составляет 800 м. Гравиметрические данные подтвердили блоковое строение фундамента впадины, межблоковые границы которого контролируются крупными разломами, установленными по геологическим и гравиметрическим данным.

Похожее строение характерно для ряда впадин, расположенных восточнее изученной депрессии. Для них комплексом геофизических методов установлены аналогичные мульдообразные прогибы фундамента, к которым приурочены месторождения бурого угля [Геология Монгольской Народной ... , 1973]. По одним характеристикам исследованная депрессия обнаруживает сходство с соседними межгорными впадинами, но по другим отличается от них.

Сейсмическая активность во впадинах связана с глубиной залегания кристаллического фундамента [Турутанов, 2010, 2012], поэтому результаты интерпретации гравитационных аномалий могут быть использованы при инженерно-сейсмологических работах по уточнению сейсмической опасности отдельных участков Улаанбаатарского района. Кроме того, карта изопакит осадков может быть полезной для уточнения перспектив эксплуатации Налайхинского промышленного месторождения бурых углей.

Работа выполнена в рамках интеграционной программы ИНЦ СО РАН «Фундаментальные исследования и прорывные технологии как основа опережающего развития Байкальского региона и его межрегиональных связей».

Список литературы

- Геология Монгольской Народной Республики. Т. 1. Стратиграфия / под ред. Н. А. Маринова, Л. П. Зоненшайна, В. А. Благодрава. М. : Недра, 1973. 582 с.
- Турутанов Е. Х. Строеие кайнозойских впадин северо-восточного и юго-западного окончаний Байкальской рифтовой системы по гравиметрическим данным. Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2010. 167 с.
- Турутанов Е. Х. Ангаро-Витимский батолит: форма и размеры по гравиметрическим данным // Докл. РАН. 2011. Т. 440, № 6. С. 815–818.
- Турутанов Е. Х. Морфология мезозойских гранитных плутонов Монголии по гравиметрическим данным. Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2012. 223 с.
- Bankwitz P. Magmentektonloche Aspekte der Intrusion des Erzgebirgeplutons // Geolog. und Geophys. Veroff. 1975. R III. N 36. P. 48.
- Biehler S. A., Bonini W. E. Geophysical Interpretation of the Boulder Batholith, Montana. Trans. Amer. Geophys. Union. 1966. 47. N 1. P. 192.
- Campbell D. S., Jonson D. J. Bouguer gravity study of Enumclaw Pinnacle peak // Northwest Sci. Washington. 1982. N 2. P. 90–100.
- Cordell L., Zorin Yu. A., Keller R. The decompensative gravity anomaly and deep structure of the region of the Rio Grande rift // J. Geophys. Res. 1991. Vol. 96, N 4. P. 6557–6558.
- 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-Di-mensional Gravity Modeling Program. U.S. Geol. Surv. Open-Fiele 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. Profess. 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. 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.

Late Neoproterozoic ophiolite formation and accretion tectonics in western Mongolia // *Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia* / Eds. G. Badarch, B. Jahn, B. F. Windley, A. Kröner, Ye. V. Khain and others – International Geological Congress P-420, Abstracts and Excursion Guidebook Rennes, Geosciences. 2000. P. 84–85.

Lind G. Gravity measurements over the Bohua Granite in Sweden // *Geol. fohrn. Stockholm forhandl.* 1967. Vol. 88, N 4. P. 542–548.

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.

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.

New data for absolute age of Shar us gol granite, Central Mongolia / Yu. Takahashi, Yo. Arakava, K. Naito, S. Oyungerel, Kh. Amakava // *Mongolian Geoscientist*. 1999. N 3. P. 26–30.

Nye role of regional scale faults in controlling a trapdoor caldera, Coromandel Peninsula / N. Smith, J. Cassidy, C. A. Locke, J. L. Mauk, A. B. J. Christie // *New Zealand Volcanol and Geotherm. Res.* 2006. Vol. 149, N 3–4. P. 312–328.

Oelsner C. Die gravimetrischen Spezialvermessungen des Gebietes Geger // *Freiberger Forschungs. Ehrenfriedersdorf*. 1963. N 167. P. 85–93.

Pitcher W.S. The anatomy of batholiths // *Journ.Geol. Soc. (London)*. 1978. Vol. 135, N 2. P. 157–182.

Ramodass G., Ramaprasada Rao I. B., Himabindu D. Crustal configuration of the Dharwar craton, India, based on joint modeling of regional gravity and magnetic data // *J. Asian Earth Sci.* 2006. Vol. 26, N 5. P. 437–448.

Rowston D. L. Gravity survey of manganese deposits in the Mt. Sydney-Woodie Woodie area, Pilbara Goldfield // *Geol. Surv. West. Austral. Annual. Rept.* 1965. S. 1. P. 49–51.

Stephanson O., Johnson K. Granite diapirism in the Rum Jungle area, Northern Australia // *Precambrian Res.* 1976. Vol. 3, N 2. P. 159–185.

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 Nalayhin Coaliferous Depression (Mongolia)

E. Kh. Turutanov

Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk

B. Buyantogtokh, B. Tengis

Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk

Center for Astronomy and Geophysics of the MAS, Ulaanbaatar

Abstract. Based on the results of the area-based gravity survey of an average scale, performed for the first time on the territory of the Nalayhin coaliferous depression (Mongolia), a map of

gravity anomalies in the Bouguer reduction was obtained. Nalayhinskaya basin of the Mesozoic age is located within the Hentyi folded area. It is located 35 km southeast of the city of Ulanbaatar and is controlled by a system of deep faults. The basin has a sublatitudinal orientation and is filled with Lower Cretaceous sedimentary deposits. The medium-Paleozoic sedimentary rocks that enclosed it are collected in the steep isoclinal folds of the northeasterly strike. The expediency of carrying out gravimetric operations is due to the fact that in the depressions seismic activity is directly related to the depth of the crystalline basement. The survey was performed using gravimeters scintrex autograv CG-5 according to the standard procedure. The heights of the observation points were determined by the Trimble 5700 GPS devices. The rms accuracy of calculating the gravity anomalies and the density of the observational network correspond to the technical requirements for gravimetric surveys of a scale of 1:100 000. The correction for the relief was introduced within a radius of 200 km. A quantitative interpretation of the gravitational anomalies was carried out to estimate the thickness of the sediments. The interpretation was carried out by the method of selection of three-dimensional models by inversion of residual gravitational anomalies of the Bouguer. The method of least squares is used. This is a method of approximating geological bodies with three-dimensional prisms with vertical sections that are polygon-shaped and are limited in extent. As a result of the interpretation it was established that the foundation of the depression has a block structure and is divided by faults of the north-east and north-west directions. The maximum thickness of sedimentary deposits in the basin is 800 m. Data on the thickness of sediments and the morphology of the basement can be used in engineering seismological studies to clarify the seismic hazard of certain sections of the Ulanbaatar region. In addition, the data obtained can be useful for clarifying the prospects for the operation of the Nalaiha coal deposit.

Keywords: anomaly of gravity, basin, sedimentary deposits.

For citation: Turutanov E. Kh., Buyantogtokh B., Tengis B. Geological Structure of the Nalayhin Coaliferous Depression (Mongolia). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2018, vol. 25, pp. 121-136. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.25.121> (in Russian)

References

- Geologiya Mongol'skoi Narodnoi Respubliki. T. 1. Stratigrafiya* [Geology of the Mongolian People's Republic. Vol. 1. Stratigraphy]. Moscow, Nedra Publ., 1973. 582 p. (in Russian)
- Turutanov E.Kh. *Stroenie kainozoiskikh vpadin severo-vostochnogo i yugo-zapadnogo okonchaniya Baikalskoi 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)
- Turutanov E.Kh. *Angaro-Vitimskii batolit: forma i razmery po gravimetricheskim dannym* [Angara-Vitim batholith: the shape and dimensions of gravimetric data]. *Doklady RAN*, 2011, vol. 440, no. 6, pp. 815-818. (in Russian)
- Turutanov E.Kh. *Morfologiya mezozoiskikh granitnykh plutonov Mongolii po gravimetricheskim dannym* [Morphology of Mesozoic granite plutons of Mongolia by gravimetric data]. Irkutsk, IRGTU Publ., 2012. 223 p. (in Russian)
- Bankwitz P. Magmentektonloche Aspekte der Intrusion des Erzgebirgeplutons. *Geolog. und Geophys. Veroff*, 1975, vol. 3, no. 36, p. 48.
- Biehler S.A., Bonini W.E. Geophysical Interpretation of the Boulder Batholith, Montana. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 1966, vol. 47, no. 1, p. 192.
- Campbell D.S., Jonson D.J. Bouguer gravity study of Enumclaw Pinnacle peak. *Northwest Sci. Washington*, 1982, no. 2, pp. 90-100.
- Cordell L., Zorin Yu.A., Keller R. The decompensative gravity anomaly and deep structure of the region of the Rio Grande rift. *J. Geophys. Res.*, 1991, vol. 96, no. 4, pp. 6557-6558.
- Egglar 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, 12, no. 1, pp. 17-24.
- Godson R.H. Gravpoiy: A Modification of Three-Di-mensional 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, 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, vol. 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, 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.
- G. Badarch, B. Jahn (eds.). Windley B.F., Kröner A., Ye V. Late Neoproterozoic ophiolite formation and accretion tectonics in western Mongolia. Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia / Khain and others – International Geological Congress P-420, Abstracts and Excursion Guidebook Rennes. *Geosciences*, 2000, pp. 84-85.
- Lind G. Gravity measurements over the Bohua Granite in Sweden. *Geol. fohrn. Stockholm forhanadl.*, 1967, vol. 88, no. 4, pp. 542-548.
- 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.
- Takahashi Yu., Arakava Yo., Naito K., Oyungerel S., Amakava Kh. New data for absolute age of Shar us gol granite, Central Mongolia. *Mongolian Geoscientist*, 1999, no. 3, pp. 26-30.
- Smith N., Cassidy J., Locke C.A., Mauk J.L., Christie A.B.J. Nye role of regional scale faults in controlling a trapdoor caldera, Coromandel Peninsula. *New Zealand Volcanol and Geotherm. Res.*, 2006, 149, no. 3-4, pp. 312-328.
- Oclsner C. Die gravimetrischen Spezialvermessungen des Gebietes Geger. *Freiberger Forschungs. Ehrenfriedersdorf*, 1963, no. 167, pp. 85-93.
- Pitcher W.S. The anatomy of batholiths. *Journ. Geol. Soc. (London)*, 1978, vol. 135, no. 2, pp. 157-182.
- Ramodass G., Ramaprasada Rao I.B., Himabindu D. Crustal configuration of the Dharwar craton, India, based on joint modeling of regional gravity and magnetic data. *J. Asian Earth Sci.*, 2006, 26, no. 5, pp. 437-448.
- Rowston D.L. Gravity survey of manganese deposits in the Mt. Sydney-Woodie Woodie area, Pilbara Goldfield. *Geol. Surv. West. Austral. Annual. Rept.*, 1965, vol. 1, pp. 49-51.
- Stephanson O., Johnson K. Granite diapirism in the Rum Jungle area, Northern Australia. *Precambrian Res.*, 1976, 3, no. 2, pp. 159-185.
- Şengör A.M.C., Natal'in B.A., Burtman V.S. Evolution of the Alaid 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.

Турутанов Евгений Хрисанфович

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

Turutanov Evgeny Khrisanfovich

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.: (3952) 42-87-92
e-mail: tur@crust.irk.ru

Буянтогтох Базарин

аспирант
Институт земной коры СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 128
научный сотрудник
Центр астрономии и геофизики МАН
Монголия, 210613, Улаанбаатар, PO-788
тел.: 976-11-458024
e-mail: bazaryn_b@yahoo.com

Buyantogtokh Bazarin

Postgraduate
Institute of the Earth's Crust SB RAS
128, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
Researcher
Center for Astronomy and Geophysics of MAS
PO-788, Ulaanbaatar-210613, Mongolia
tel.: 976-11-458024
e-mail: bazaryn_b@yahoo.com

Тэнгис Бадма

аспирант
Институт земной коры СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 128
научный сотрудник
Центр астрономии и геофизики МАН
Монголия, 210613, Улаанбаатар, PO-788
тел.: 976-11-458024

Tengis Badma

Postgraduate
Institute of the Earth's Crust SB RAS
128, Lermontov st., Irkutsk, 664033, Russian
Federation
Researcher
Center for Astronomy and Geophysics of MAS
PO-788, Ulaanbaatar-210613, Mongolia
tel.: 976-11-458024

Дата поступления: 18.06.2018

Received: June, 18, 2018