

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

УДК 550.348. (571.56)

DOI 10.25587/SVFU.2023.30.2.001

А. С. Куляндина

Северо-восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, г. Якутск, Россия
Якутский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН»,
г. Якутск, Россия
e-mail: Albineku28@gmail.com

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ОЧАГОВОЙ ОБЛАСТИ ИЛИН-ТАССКОГО (АБЫЙСКОГО) ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2013 ГОДА

Аннотация. В статье проводится анализ сильного Илин-Тасского землетрясения, произошедшего в системе хребта Черского на территории Республики Саха (Якутия) в 2013 году. Горная система хребта Черского приурочена к сейсмотектонической зоне Черского, входящей в Арктико-Азиатский сейсмический пояс, разделяющий Евразийскую и Североамериканскую литосферные плиты в Северо-Восточной Азии. Интенсивность землетрясения в эпицентре составила 9 баллов. В качестве материала для уточнения структурно-тектонических особенностей изучаемой территории и их взаимосвязи с сейсмичностью были использованы геофизические поля. Привлечение данных пространственного распределения аномалий магнитных и гравитационных полей, дало возможность детализировать параметры положения Илин-Тасского разлома, где возникло эпицентр Илин-Тасского землетрясения. Данный разлом трассируется между реками Индигирка и Колыма вдоль границы сочленения Момского хребта с Индигиро-Зырянской впадиной, и прослеживается по градиентным зонам перехода от отрицательных к положительным значениям ΔT_a и Δg . Главный сейсмический толчок приурочен к сгущению изоаномалий Δg , образующих гравитационную ступень, в пределах которой значения силы тяжести уменьшаются с юга на север. Эпицентрального поля данного землетрясения с афтершоками захватывает западный склон кряжа Андрей-Тас (северо-западный фланг Момского хребта). Проведен качественный анализ геофизических полей в эпицентральной области землетрясения. В статье приводятся материалы инструментальных и макросейсмических данных, фокальный механизм и сейсмотектоническая обстановка очаговой зоны. Данные, полученные в результате изучения последствий Илин-Тасского землетрясения, позволяет детально раскрыть местную сейсмическую активность и уточнить степень сейсмоопасности северо-востока Якутии.

Ключевые слова: Система хребта Черского, энергетический класс, магнитуда, магнитное поле, поле силы тяжести, макросейсмические сведения, афтершоки, эпицентр землетрясения.

A. S. Kulyandina

M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia
 Yakutsk Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia
 e-mail: Albineku28@gmail.com

AN ANALYSIS OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF GEOPHYSICAL FIELDS IN THE SOURCE REGION OF THE 2013 ILIN-TAS (ABY) EARTHQUAKE

Abstract. This article analyzes the powerful Ilin-Tas earthquake that occurred in the Chersky Range system in the territory of the Republic of Sakha (Yakutia) in 2013. The mountain system of the Chersky Range system is confined to the Chersky seismotectonic zone, which is part of the Arctic-Asian seismic belt separating the Eurasian and North American lithospheric plates in Northeast Asia. The earthquake magnitude at the epicentre was 9.0. Geophysical fields were used as a material to clarify the structural-tectonic features of the study area and their relationship with seismicity. Involving the data on spatial distribution of anomalies of magnetic and gravity fields made it possible to detail the parameters of the position of the Ilin-Tas fault, where the epicentre of the Ilin-Tas earthquake originated. This fault traces between the Indigirka and Kolyma rivers along the border of the junction of the Moma Range with the Indigiro-Zyryansk depression, and is traced by gradient transition zones from negative to positive values of ΔT_a and Δg . The main seismic shock is confined to thickening of Δg isoanomalies, forming a gravitational step, within which gravity values decrease from south to north. The epicentral field of this earthquake with aftershocks captures the western slope of the Andrey-Tas Range (northwestern flank of the Moma Range). A qualitative analysis of the geophysical fields in the epicentral region of the earthquake is carried out. Materials of instrumental and macroseismic data, focal mechanism and seismotectonic setting of the focal zone are given in the article. The data obtained as a result of studying the Ilin-Tas earthquake consequences allows to reveal local seismic activity in details and specify seismodanger degree of north-east Yakutia.

Keywords: Chersky Range System, energy class, magnitude, magnetic field, gravity field, macroseismic data, aftershocks, earthquake epicenter.

Введение

Одним из значительных землетрясений за время существования сети инструментальных наблюдений (с 1963) является Илин-Тасское (Абыйское) землетрясение. Оно произошло 14 февраля 2013 г. в 13^h13^m с $M_w=6.7$ на глубине 14 км в районе хребта Черского. Интенсивность удара в эпицентре достигла 9 баллов по шкале MSK-64. После главного толчка в течение года последовала серия повторных ударов, более четырёх тысяч событий, включая слабые проявления [1].

Эпицентральная область Илин-Тасского (Абыйского) землетрясения приурочена к северо-западному окончанию крупной тектонической структуры (Момский хребет и кряж Андрей-Тас), сложенной морскими отложениями верхней юры и осадочно-континентальными толщами нижнего мела, интенсивно дислоцированными в систему линейных складок северо-западного простирания. Примыкающая к ней с северо-востока Индигиро-Зырянская впадина представлена меловыми и кайнозойскими отложениями, которые далее к северу сменяются осадочными отложениями Яно-Индигирской низменности (рис.1). Тектоническое строение взаимоотношений этих двух крупных структурных элементов в неотектоническое время определяется горизонтальным кораблением Момского хребта и формированием протяжённого сводового поднятия, протягивающегося от р. Индигирки до р. Колымы, которое своим северо-восточным флангом надвинуто на край Индигиро-Зырянской впадины [2]. Это также видно на карте современных вертикальных тектонических движений (2–4 мм/год), рис. 2 [3].

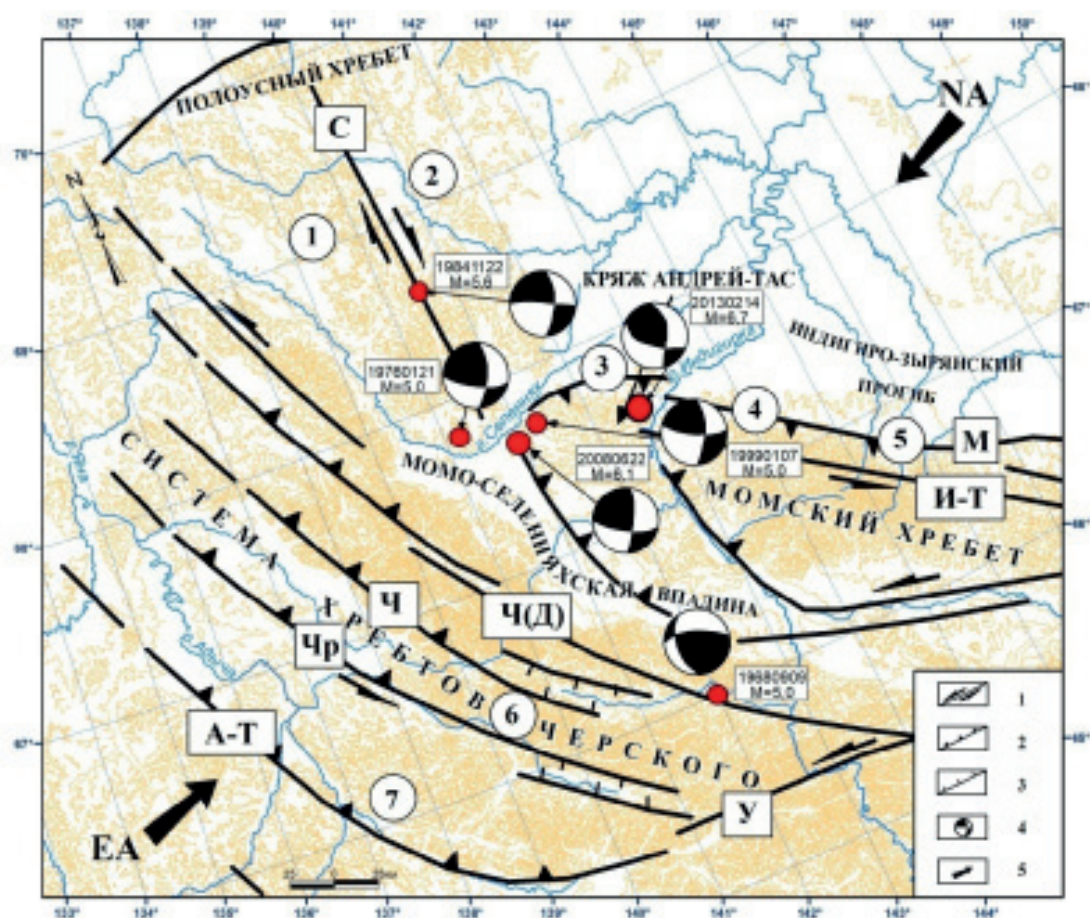


Рис. 1. Карта эпицентров сильных землетрясений территории кряжа Андрей-Тас и прилегающей Момо-Селенняхской впадины за 1968 – 2013 гг.

1–3 – разломы: 1 – сдвиги, 2 – надвиги, 3 – сбросы, 4 – механизмы очагов сильных землетрясений с указанием даты их возникновения и магнитуды, белым цветом обозначены области разряжения, 5 – направление движения плит [4]. NA и EA – Североамериканская и Евразийская литосферные плиты. Места позднекайнозойских взбрососдвиговых деформаций обозначены цифрами в кругах (1 – Верхнеселенняхская, 2 – Инач, 3 – Сисиктех, Никондя, 4 – Кыллах, 5 – Мятись, Элгандя, 6 – Чаркынская, 7 – Ченкеленьинская). Буквами обозначены названия главных разломов: А-Т – Адыча-Тарынский, Чр – Чаркынский, Ч – Чемалгинский, Ч(Д) – Чибাগалахский (Догдинский), С – Селенняхский, У – Улахан, М – Мятисский, И – Т – Илин-Тасский [5, с дополнением]

Fig. 1. Map of epicenters of strong earthquakes in the territory of the Andrey-Tas ridge and the adjacent Momo-Selennyakh depression for 1968-2013

1-3– faults: 1– shifts, 2– thrusts, 3– discharges; 4– mechanisms of foci of strong earthquakes, indicating the date of their occurrence and magnitude, the areas of discharge are indicated in white; 5 – the direction of plate movement [4]. NA and EA are the North American and Eurasian lithospheric plates. The places of Late Cenozoic thrust deformations are indicated by numbers in circles (1 – Verkhneselennyakhskaya, 2 – Inach, 3 – Sisikteh, Nikondya, 4 – Kyllakh, 5 – Myash, Elgandya, 6 – Charkynskaya, 7 – Chenkeleninskaya). The letters are the names of the main fractures: А-Т – Adycha-Tarynsky, Cr – Charkynsky, Ч – Chemalginsky, Ч (D) – Chibagalakhsky (Dogdinsky), S – Selennyakhsky, U – Ulakhany, M – Myatitsky, I-T – Ilin-Tass [5, with an addendum]

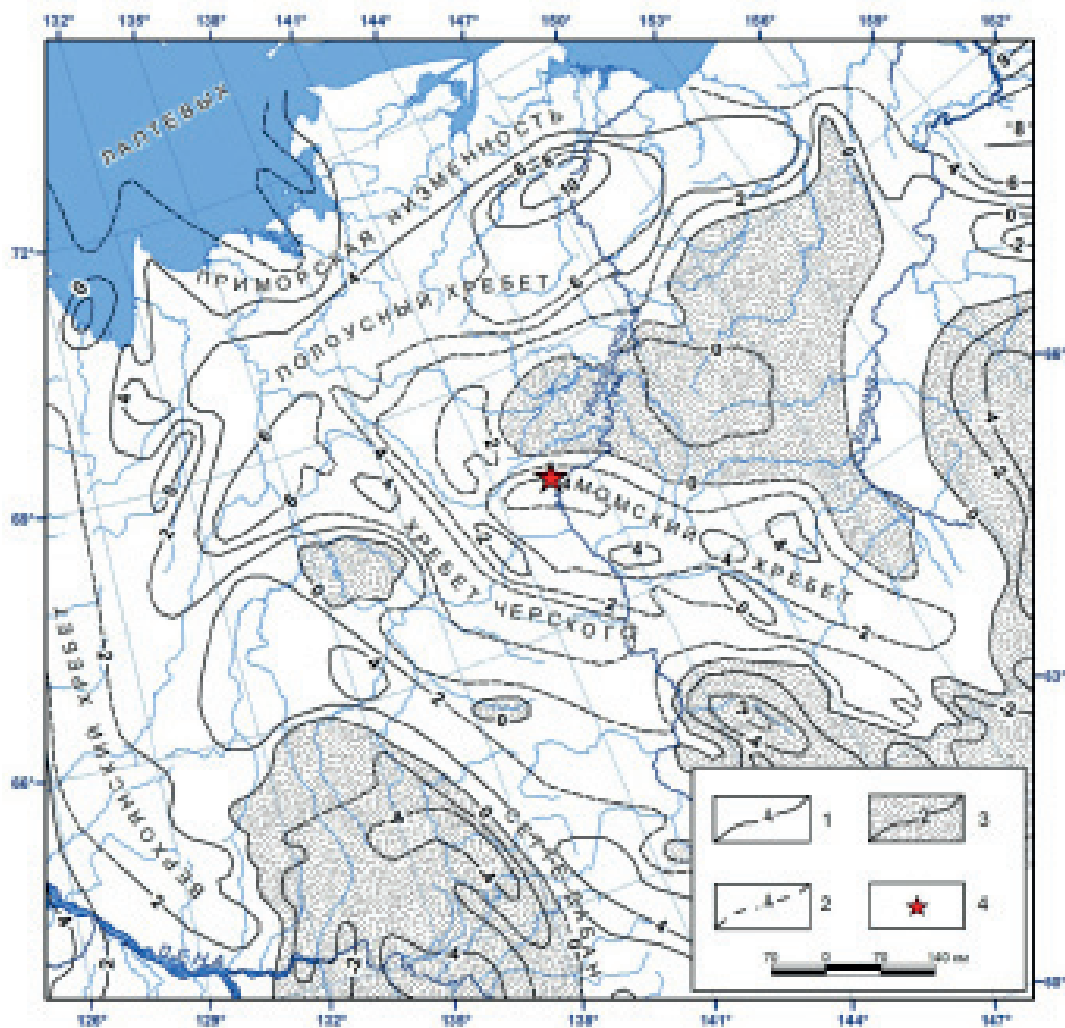


Рис. 2. Карта скоростей современных вертикальных тектонических движений (мм/год)

1 – поднятие, 2 – предполагаемые, 3 – опускание, 4 – инструментальный эпицентр Илин-Тасского землетрясения [3]

Fig. 2. Velocity map of modern vertical tectonic movements (mm/year)

1 – raising, 2 – presumed, 3 – lowering, 4 – instrumental epicenter of the Ilin-Tass earthquake [3]

Основное простирание генеральных разломов Илин-Тасский и Улахан соответствует направлению северо-запад – юго-восток. Илин-Тасское землетрясение произошло в системе локальных разломов, ориентированных с северо-востока на юго-запад, перпендикулярной расположению генеральных тектонических нарушений. Диаграммы фокальных механизмов в эпицентральной зоне указывают на преобладание подвижек типа взбросов, надвигов и сдвигов (рис. 1), содействующих подыманию данного района.

Приведённые макросейсмические сведения Илин-Тасского землетрясения подтверждают, что местные структуры, как и изосейсты вытянуты в направлении юго-запад – северо-восток (рис. 3). Данное землетрясение ощущалось в восьми арктических районах (Абыйском, Верхоянском, Оймяконском, Момском, Верхнеколымском и др.) республики, и своевременно собрана информация о последствиях толчка. На основе макросейсмических данных построена карта изосейст Илин-Тасского (Абыйского) землетрясения (рис. 3). Сотрясение

почувствовали в 24 населённых пунктах, расположенных в междуречье Яны–Индикирки–Колымы. Землетрясение ощутили на территории почти 500 тыс. кв.км. с интенсивностью от 2 до 7 баллов.

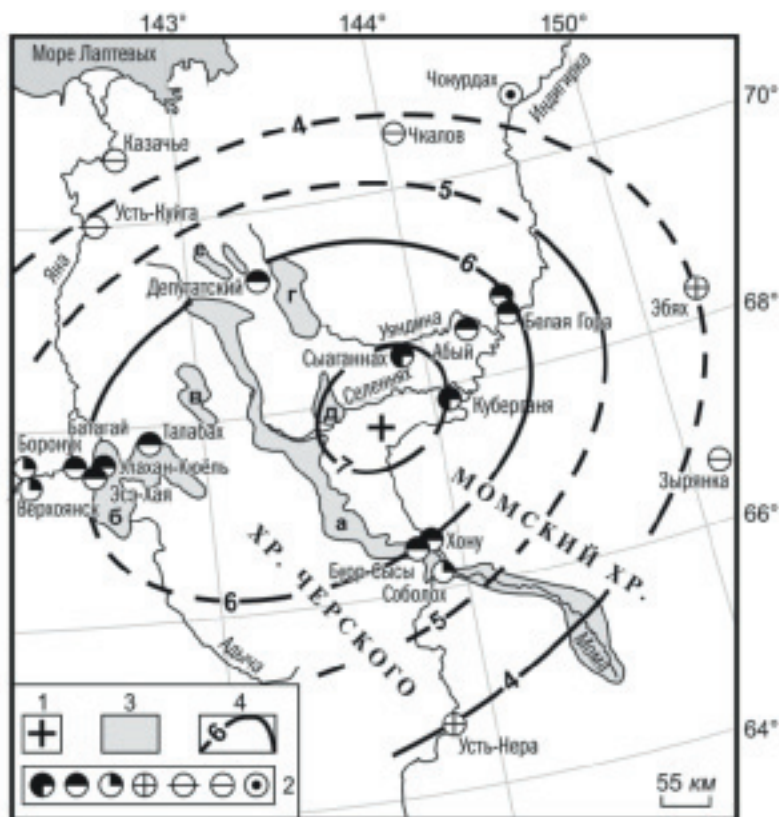


Рис. 3. Карта изосейст Илин-Тасского землетрясения 14 февраля 2013 г. с $K_p=15.2$, $M_w=6.7$. 1 – инструментальный эпицентр; 2 – интенсивность сотрясений $I=7, 6, 5, 4, 3-4, 3$ и 2 балла; 3 – кайнозойские впадины: Момо-Селенняхская (а), Туостакская (б), Неннелинская (в), Уяндинская (г), Томмотская (д), Иргичанская (е); 4 – изосейсты (сплошные линии – уверенные, штриховые – предполагаемые) [1]

Fig. 3. Map of the isoseist of the Ilyint earthquake on February 14, 2013 with $K_p=15.2$, $M_w=6.7$. 1 – instrumental epicenter; 2 – intensity of concussions $I=7, 6, 5, 4, 3-4, 3$ and 2 points; 3 – Cenozoic depressions: Momo-Selennyakhskaya (a), Tuostakhskaya (b), Nennelinskaya (c), Uyandinskaya (d), Tommotskaya (d), Irgichanskaya (e); 4 – isoseists (solid lines – confident, dashed – assumed) [1]

Анализ пространственного распределения геофизических полей

Методика анализа пространственного распределения геофизических полей основывалась на их априорной связи с геологическим строением района [6].

Как показано на рисунке 4, Илин-Тасское землетрясение приурочено к ступени изогипс, образующих гравитационную ступень, в пределах которой значения силы тяжести уменьшаются с юга на север. Всё эпицентральное поле с афтершоками захватывает восточный склон кряжа Андрей-Тас (Рис.1). Гравитационное поле района представляет собой систему чередующихся линейных положительных и отрицательных аномалий и имеет блоковое строение. Андрей-Тасский блок проявляется в виде гравитационного максимума интенсивностью более 48 мГал. В данной местности максимум Δg обусловлен воздыманием более плотных древних пород вверх по сместителю лобовой части шарьяжа, и выделяется как Илинтасская положительная аномальная зона. Зоны локальных минимумов соответствуют припущенному блоку

фундамента, и структуре облекания в низах осадочного чехла и представлены Селенняхской отрицательной аномальной зоной. Выделенные аномальные зоны отделены друг от друга Илин-Тасским разломом, куда примыкает главный сейсмический удар. Илин-Тасский разлом четко выделяется гравитационным градиентом с субширотным простиранием, к западу меняет простирание на субмеридиональное. Изоаномалии гравитационного поля имеют вытянутые формы в северо-западном направлении и распределяются неравномерно.

Илин – Тасское землетрясение и его афтершоки прослеживаются по градиентным зонам перехода от отрицательных к положительным значениям ΔT_a и Δg . Магнитное поле дифференцировано и представлено отрицательными (до -150 мГал) и положительными (до 300 мГал) аномалиями. Смена характера и уровня магнитного поля данной территории показывает блоковое строение местности. Межблочная зона соответствует положению разделяющего тектонического разлома. На основании того, что большинство известных крупных разрывов и трещин в земной коре имеют длину свыше 150 – 200 км, Илин-Тасское разрывное нарушение относится к глубинным разломам. Его протяженность по магнитным аномалиям более 500 км.

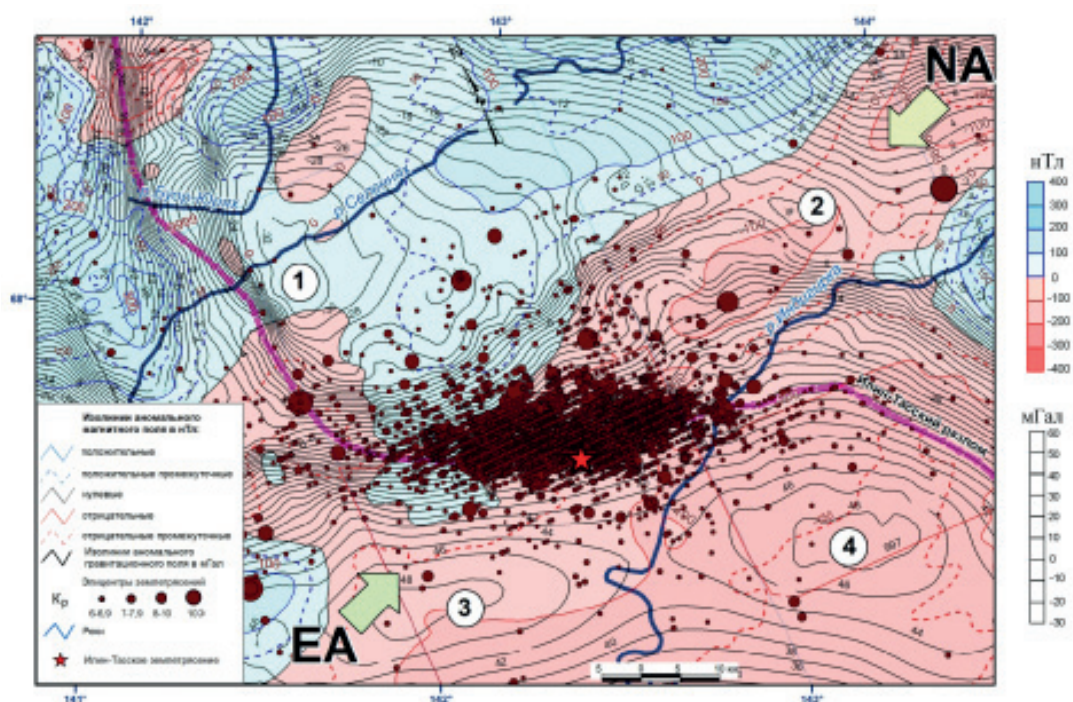


Рис. 4. Фрагмент карты распределения геофизических полей на территории исследования

Цифрами обозначены блоки: 1, 2 – гравитационные минимумы Селенняхской отрицательной аномальной зоны, 3, 4 – гравитационные максимумы Илинтасской положительной аномальной зоны.

Fig. 4. Fragment of the map of the distribution of geophysical fields in the study area

The numbers indicate the blocks: 1, 2 – gravitational minima of the Selennyakh negative anomalous zone, 3, 4 – gravitational maxima of the Ilyintass positive anomalous zone.

Закключение

Привлечение данных цифровой карты аномалий геофизических полей, дало возможность уточнить форму и положение Илин-Тасского разлома, где возник эпицентр Илин-Тасского землетрясения. Удалось детально проследить как данный разлом, отделяющий Индигино-Зырянский прогиб от возвышенностей Момского хребта и кряжа Андрей-Тас, отражается в геопотенциальных полях.

Анализ особенностей распределения геофизических полей в очаговой области Илин-Тасского (Абыйского) землетрясения позволил детализировать блоковое строение района исследования и позицию глубинного разлома, который ранее рассматривался только по данным геолого-структурных наблюдений без учёта внутреннего строения земной коры. По характеру распространения гравитационного поля, по всей вероятности, максимумы силы тяжести определены структурой рельефа и строением кристаллического фундамента. По рисунку изолиний поля силы тяжести на территории исследования выделяются 4 блока. Равным образом, смена доминирующего направления локальных магнитных аномалий подтвердили блоковое строение этого района.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>)

Литература

1. Шибаев, С.В. Козьмин Б.М., Имаева Л.П., Имаев В.С., Петров А.Ф., Старкова Н.Н. Илин-Тасское (Абыйское) землетрясение 14 февраля 2013 г. с $M_w=6.7$ (северо-восток Якутии) / С.В. Шибаев, Б.М. Козьмин, Л.П. Имаева, В.С. Имаев, А.Ф. Петров, Н.Н. Старкова. – Текст: непосредственный // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 92–102. DOI:10.35540/2686-7907.2020.1.09. – EDN: PXLPLM.
2. Имаева, Л.П. Сеймотектоническая активизация новейших структур восточного сектора Сибирского кратона: монография / Л.П. Имаева. – Пенза: Научно-издательский центр «Социосфера», 2022. – 370 с. – Текст: непосредственный.
3. Бочаров, Г.В. Карта современных движений территории Якутской АССР / Г.В. Бочаров, Г.С. Гусев, Л.В. Есикова, В.Б. Спектор. – Текст: непосредственный // Геотектоника. – 1982. – № 3. – С. 60–63.
4. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / под общей редакцией Л.М. Парфенова, М.И. Кузьмина. – Москва: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 571 с. – Текст: непосредственный.
5. Джурик, В. И. Сейсмогеологические, сейсмологические и инженерно-сейсмологические исследования лаборатории инженерной сейсмологии и сейсмогеологии ИЗК со РАН / В. И. Джурик. – Текст: непосредственный // Геодинамика и тектонофизика. – 2014. – Т. 5. – № 1. – С. 135–157.
6. Трофименко, С.В. Структура и динамика геофизических полей и сейсмических процессов в блоковой модели земной коры: 25.00.10: диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук: защищена 24.02.11 / Трофименко Сергей Владимирович – Томск: Томский политехнический университет, 2011. – 223 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Shibaev, S.V. Koz'min B.M., Imaeva L.P., Imaev V.S., Petrov A.F., Starkova N.N. Ilin-Tasskoe (Abyjskoe) zemletrjasenie 14 fevralja 2013 g. s $M_w=6.7$ (severo-vostok Jakutii) / S.V. Shibaev, B.M. Koz'min, L.P. Imaeva, V.S. Imaev, A.F. Petrov, N.N. Starkova. – Tekst: neposredstvennyj // Rossijskij sejsmologicheskij zhurnal. – 2020. – Т. 2, № 1. – S. 92–102. DOI:10.35540/2686-7907.2020.1.09. – EDN: PXLPLM.
2. Imaeva, L.P. Sejsmotektonicheskaja aktivizacija novejsih struktur vostochnogo sektora Sibirskogo kratona: monografija / L.P. Imaeva. – Penza: Nauchno-izdatel'skij centr «Sociosfera», 2022. – 370 s. – Tekst: neposredstvennyj.
3. Bocharov, G.V. Karta sovremennyh dvizhenij territorii Jakutskoj ASSR / G.V. Bocharov, G.S.Gusev, L.V. Esikova, V.B. Spector. – Tekst: neposredstvennyj // Geotektonika. – 1982. – № 3. – S. 60–63.

4. Tektonika, geodinamika i metallogenija territorii Respubliki Saha (Jakutija) / pod obshhej redakciej L.M. Parfenova, M.I. Kuz'mina. – Moskva: MAIK «Nauka/Interperiodika», 2001. – 571 s. – Tekst: neposredstvennyj.
5. Dzhurik, V. I. Sejsmogeologicheskie, seismologicheskie i inzhenerno-seismologicheskie issledovanija laboratorii inzhenernoj seismologii i seismogeologii IZK so RAN / V. I. Dzhurik. – Tekst: neposredstvennyj // Geodinamika i tektonofizika. – 2014. – T. 5. – № 1. – S. 135-157.
6. Trofimenko, S.V. Struktura i dinamika geofizicheskikh polej i seismicheskikh processov v blokovej modeli zemnoj kory: 25.00.10: dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni doktora geologo-mineralogicheskikh nauk: zashhishhena 24.02.11 / Trofimenko Sergej Vladimirovich – Tomsk: Tomskij politehnicheskij universitet, 2011. – 223 s. – Tekst: neposredstvennyj.

Сведения об авторах

КУЛЯНДИНА Альбина Семеновна – аспирант 2-го года обучения СВФУ Геологоразведочный факультет Кафедра Геофизические методы поисков и разведки МПИ, ведущий инженер-геофизик Якутского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба» РАН, e-mail: albineku28@gmail.com

KULYANDINA Albina Semenovna – 2nd year postgraduate student, Department of Geological Exploration Geophysical Methods of Prospecting and Exploration, NEFU; Leading Geophysical Engineer, Yakutsk Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (Yakutsk Branch of GS RAS), e-mail: albineku28@gmail.com