

**NEW DATA ON THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE SYNNYR ULTRA-K INTRUSIVE FORMATION**S.A. Smyslov ¹, A.E. Kayukov ¹, A.O. Bystritsky ¹, A.N. Sokolova ¹, I.A. Sotnikova ²✉, A.Yu. Rytsk ¹¹ Baikal Nedra Geo LLC, 51 Tayezhnaya St, Nizhneangarsk 671710, Russia² Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 1a Favorsky St, Irkutsk 664033, Russia

ABSTRACT. The Synnyrsky massif is the largest intrusive containing ultra-potassium syenites, synnyrites, which are raw materials for the production of potash fertilizers and aluminum. An extensive complex of geological and geochemical studies has been carried out, including exploratory drilling, which was carried out on the massif for the first time. The data obtained made it possible to significantly change the idea of the structure of the massif, including a different look at the regularities of the placement of potash-alumina ores, significantly increasing the ore potential and the reliability of its assessment. The present study discusses the existence within the Synnyrsky complex of the third, previously undetected, large intrusive phase, which has its own geological and geochemical features.

KEYWORDS: Synnyrsky massif; synnyrites; pulaskites; foyaites; stratified series

FUNDING: The studies are performed as a part of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation to conduct research on theme 0284-2021-0008 "Geochemistry, petrology and ore content of intrusive and volcanic alkaline complexes and deposits of strategic metals, their mantle sources" and the project of Baikal Nedra Geo Ltd.

SHORT COMMUNICATION

Received: June 10, 2022

Revised: July 25, 2022

Accepted: August 24, 2022

Correspondence: Irina A. Sotnikova, sotnikova@igc.irk.ru

FOR CITATION: Smyslov S.A., Kayukov A.E., Bystritsky A.O., Sokolova A.N., Sotnikova I.A., Rytsk A.Yu., 2022. New Data on the Geological Structure of the Synnyr Ultra-K Intrusive Formation. *Geodynamics & Tectonophysics* 13 (4), 0658. doi:10.5800/GT-2022-13-4-0658

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ СЫННЫРСКОГО УЛЬТРАКАЛИЕВОГО ИНТРУЗИВНОГО МАССИВА

С.А. Смыслов¹, А.Е. Каюков¹, А.О. Быстрицкий¹, А.Н. Соколова¹, И.А. Сотникова², А.Ю. Рыцк¹

¹ООО «Байкал Недр Гео», 671710, Нижнеангарск, ул. Таежная, 51, Россия

²Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а, Россия

АННОТАЦИЯ. Сыннырский массив – крупнейший интрузив, содержащий в своем составе ультракалиевые сиениты, сынныриты, являющиеся сырьем для производства калийных удобрений и алюминия. Выполнен обширный комплекс геолого-геохимических исследований, в том числе поисково-разведочное бурение, которое было проведено на массиве впервые. Полученные данные позволили существенным образом изменить представление о строении массива, в том числе иначе взглянуть на закономерности размещения калийно-глиноземных руд, значительно увеличив рудный потенциал и достоверность его оценки. В настоящем исследовании обсуждается существование в пределах Сыннырского комплекса третьей, ранее не выделяемой, крупной интрузивной фазы, которая имеет свои геолого-геохимические особенности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Сыннырский массив; сынныриты; пуласкиты; фойяиты; расслоенная серия

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследования выполнены в рамках государственного задания Минобрнауки РФ в части проведения НИР по теме № 0284-2021-0008 «Геохимия, петрология и рудоносность интрузивных и вулканических щелочных комплексов и месторождений стратегических металлов, их мантийные источники» и проекта ООО «Байкал Недр Гео».

1. ВВЕДЕНИЕ

Сыннырский массив является крупнейшим интрузивом, содержащим в своем составе редкие ультракалиевые фельдшпатоидные сиениты – сынныриты, которые являются сырьем для производства калийных удобрений и алюминия.

В ходе полевых работ нами был собран большой объем каменного материала и данных геологических наблюдений, позволивший пересмотреть и уточнить принятые ранее представления о форме массива и этапах его формирования [Zhidkov, 1963; Ushakov et al., 1986; и др.]. Понимание строения массива позволяет произвести наиболее точную оценку запасов полезного ископаемого, чем, в первую очередь, и обусловлена актуальность данной работы. Полученные данные позволили существенным образом изменить представления о строении массива, в том числе по-новому взглянуть на закономерности размещения калийно-глиноземных руд, существенно повысив рудный потенциал и достоверность его оценки.

2. КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Сыннырский массив входит в состав Северо-Байкальской щелочной провинции [Zhidkov, 1961], являясь крупнейшим в мире кольцевым плутоном щелочных пород высококалиевой серии площадью до 600 км². Он расположен на границе неопротерозойских континентальных рифтогенных структур Олоkitской зоны Байкало-Патомского складчато-надвигового пояса южной части Сибирского кратона и Байкало-Муйского пояса.

По итогам поисковых работ 60-х годов прошлого века была предложена двухфазная модель строения Сыннырского массива [Zhidkov, 1962, 1963; Orlova et al., 1993], ставшая общепринятой: первая фаза представлена расслоенной серией пород, состоящей из щелочных сиенитов, фельдшпатоидных сиенитов и шонкинитов; вторая фаза – щелочные сиениты (пуласкиты). Внедрение пуласкитов в качестве отдельной магматической фазы позднее было подтверждено изотопными исследованиями [Savatenkov et al., 2019]. На стадии автометасоматического преобразования фельдшпатоидных сиенитов возникли крупные поля светло-слюдисто-микроклиновых пород, занимающие до 25–30 % площади развития первой интрузивной фазы.

Формирование родоначального расплава для пород массива связывается с процессами взаимодействия позднепалеозойского Сибирского плюма с древней континентальной корой [Rytsk et al., 2017].

Возраст образования пород считается позднепалеозойским. Так, по данным [Kostyuk et al., 1990], возраст нефелиновых сиенитов и сынныритов соответствует 330–311±2 млн лет (Rb-Sr метод), а для пуласкитов второй интрузивной фазы составляет 305±12 млн лет (K-Ar метод). Кроме того, В.М. Саватенковым с соавторами [Savatenkov et al., 2019] для сынныритов и шонкинитов первой интрузивной фазы получена возрастная датировка 291±9 млн лет (Rb-Sr метод).

3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе работ были использованы следующие методы: атомно-эмиссионный анализ с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП спектрометр «Optima-4300»,

спектрометр «Spectro Arcos»), микронзондовый анализ (сканирующий электронный микроскоп JSM-6510LA с энергодисперсионным спектрометром JED-2200 (JEOL)). Для оперативного определения химического состава пород при документации и разметке границ опробования использовался портативный рентгенофлуоресцентный анализатор Olympus Vanta-M.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Фазовые взаимоотношения внутри массива. По результатам бурения было установлено, что первая

интрузивная фаза в разрезе представляет собой асимметричный, не выдержанный по мощности лакколлит с минимальной мощностью (первые десятки метров наблюдаются в эрозионных срезах) в западном, северо-западном и северном сегментах этой структуры и максимальной – на востоке и юго-востоке. На это указывает обилие участков вмещающих пород внутри северо-западной окраины массива, представляющих собой как эрозионные окна, так и провесы кровли интрузива (рис. 1). При этом на востоке не отмечены даже небольшие участки вмещающих пород ни на дневной

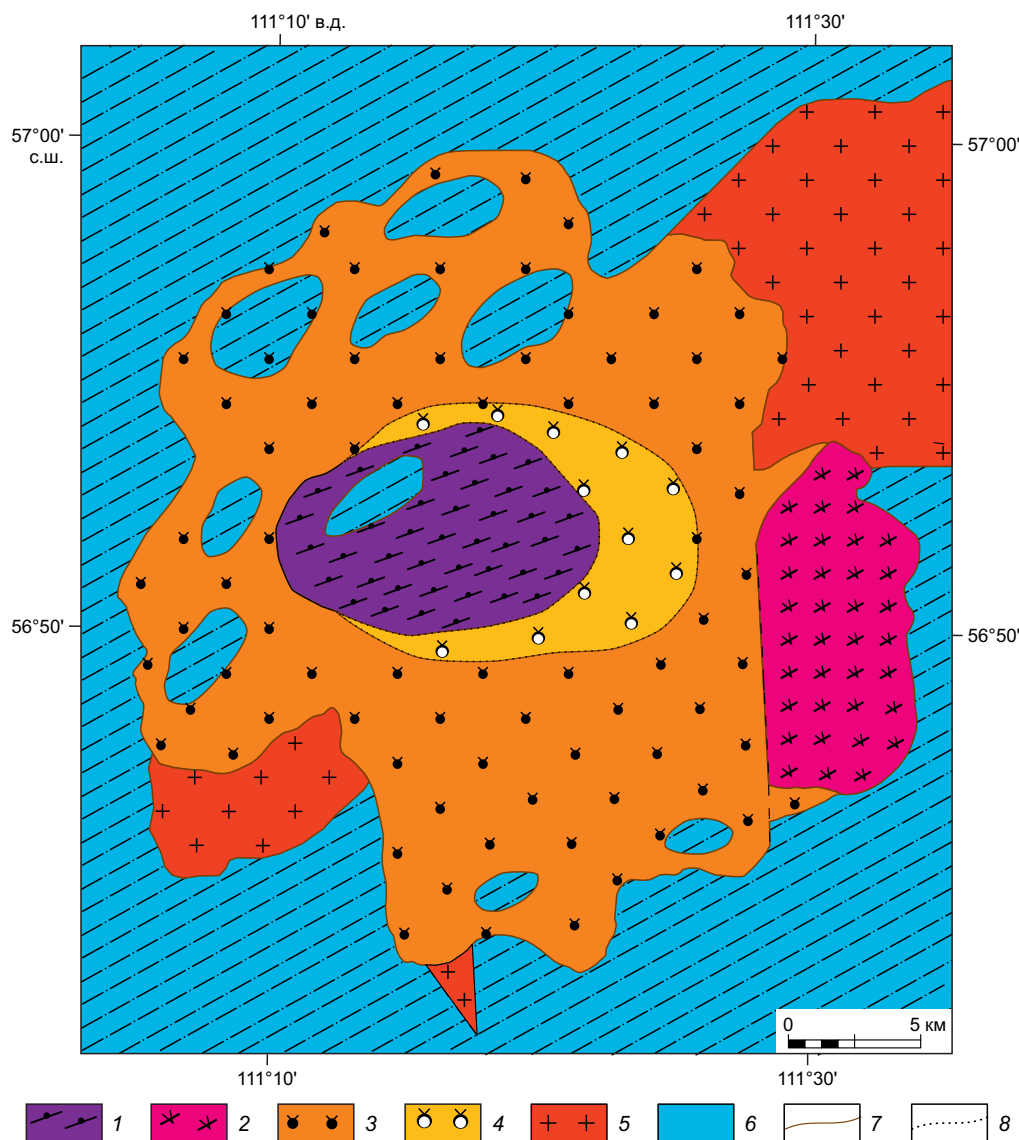


Рис. 1. Схема геологического строения Сыннырского массива по [Zhidkov, 1961; Orlova et al., 1993], с авторскими изменениями. 1-2 – породы первой интрузивной фазы: 1 – зона преимущественного развития сынныритов, 2 – зона преимущественного развития нефелиновых сиенитов; 3 – щелочные сиениты (пуласкиты) второй фазы; 4 – фойяиты третьей фазы; 5 – гранитоиды Конкудеро-Мамаканского комплекса; 6 – вмещающие породы протерозоя и нижнего кембрия (нерасчлененные); 7 – геологические границы; 8 – фазовые границы. Зоны разрывных нарушений не показаны.

Fig. 1. The scheme of the geological structure of the Synnyr massif according to [Zhidkov, 1961; Orlova et al., 1993], modified by the author. 1-2 – rocks of the first intrusive phase: 1 – zone of synnyrite development, 2 – zone of nepheline syenite development; 3 – alkaline syenites (pulaskites) of the second phase; 4 – foyaites of the third phase; 5 – granitoids of the Concudero-Mamakan complex; 6 – host rocks of the Proterozoic and Lower Cambrian (undifferentiated); 7 – geological boundaries; 8 – phase boundaries. Fault zones are not shown.

Таблица 1. Содержание ряда редких элементов в породах Сыннырского массива (г/т) по данным ICP-MS
Table 1. Variation intervals of some rare and trace elements in rocks of the Synnyr massif (ppm) according to ICP-MS data

Rb	Sr	Y	Ba	Ta	Nb	Th	U
Сыннырит							
300–800	400–1000	0.5–2.0	500–5500	0.0–0.2	0.2–1.0	0.2–0.8	0.1–0.3
Нефелиновый сиенит							
400–600	500–1000	0.5–2.0	1000–4000	0.0–0.2	0.2–1.0	0.4–1.0	0.1–0.4
Шонкинит и щелочной сиенит							
150–230	2000–4500	12–50	5500–7000	0.2–1.5	0.2–13.0	2.0–3.0	0.3–1.0
Фойяит							
100–300	700–3000	10–70	2500–4000	0.7–3.0	15–60	5.0–35.0	1.0–5.0

поверхности, ни в керне скважин. В пределах восточного – юго-восточного фланга расположена и наиболее широкая сынныритоносная зона первой интрузивной фазы. Здесь до глубины минимум 600 м наблюдается чередование нескольких последовательных ритмов, представляющих собой переслаивание лейкократовых и меланократовых пород в соотношении 4:1 соответственно. К лейкократовой составляющей относятся сынныриты и нефелиновые сиениты, к меланократовой – щелочные сиениты, шонкиниты и биотитовые пироксениты. Из данных бурения следует, что ближе к центру массива породы расслоенной серии залегают под углами 15–30° на северо-запад, а по мере продвижения к восточным приконтактовым зонам залегание пород последовательно меняется до 10° на северо-восток. Сынныритоносную часть массива обрамляют нефелиновые сиениты с незначительными телами сынныритов и крайне подчиненным количеством меланократовых пород.

Внутри расслоенной серии широко развиты метасоматиты. Вдоль зон тектонических нарушений наблюдаются микроклин-цеолитовые разности, внутри тел нефелиновых сиенитов отмечаются участки содалит-канкринит-микроклиновых образований. Но наибольшим распространением пользуются мусковит-микроклиновые породы, формирующие обширные поля с неясными плавными контурами. Ранее считалось, что метасоматические процессы сопровождались главным образом выносом щелочей и привносом глинозема. Помимо этого, нами выделены метасоматические породы с присутствием кварца, а формирование содалитовых метасоматитов свидетельствует о заметном привносе натрия на отдельных участках массива.

Крайний восточный сегмент Сыннырского массива в пределах поля развития первой интрузивной фазы сложен фойяитами, которые по своему внешнему облику, структурно-текстурным особенностям и вещественному составу контрастны с породами расслоенной серии, хотя ранее воспринимались как ее составляющая.

Породы второй фазы, как и предполагалось ранее, слагают штокообразное тело, состоящее из пуласки-тов (щелочных сиенитов).

Особенности состава фойяитов. Все фельдшпатоидные сиениты первой интрузивной фазы имеют устойчивые соотношения породообразующих минералов: калиевый полевой шпат – от 60 до 70 об. %, фельдшпатоиды (нефелин-кальситовый твердый раствор) – 25–30 об. %, количество темноцветных минералов редко превышает 5 об. %.

Фойяиты сложены главным образом полевым шпатом (70–80 об. %), содержание нефелина в них достигает 30 об. %, количество темноцветных минералов составляет 5–20 об. %.

Большинство фельдшпатоидных сиенитов расслоенной серии характеризуется присутствием симплектитовых сростаний калиевого полевого шпата с фельдшпатоидами. В фойяитах такие структуры отсутствуют. В полевых шпатах фойяитов и пуласки-тов второй фазы, в отличие от пород расслоенной серии, отмечаются пертитовые вроски альбита.

Рассматривая химический состав пород, можно отметить, что в фойяитах по сравнению с фельдшпатоидными сиенитами расслоенной серии существенно ниже содержания Al_2O_3 и суммы щелочей, при этом в них отмечаются более высокие содержания Y, Ta, Nb, Th и U (табл. 1). Количества Rb и Sr близки к таковым в шонкинитах и меланократовых сиенитах, но контрастны с их показателями в нефелиновых сиенитах и сынныритах (табл. 1).

Существенные отличия наблюдаются также и в составе минералов. Так, состав клинопироксенов фойяитов характеризуется повышенным количеством эгиринового минала (до 40–55 мол. %) по сравнению с диопсид-геденбергитами пород расслоенной серии (5–10 мол. %) и пуласки-тов (10–22 мол. %). Биотиты из фойяитов в целом более магнезиальны по сравнению с таковыми из нефелиновых сиенитов расслоенной серии и близки по составу к биотитам из пуласки-тов. В щелочных полевых шпатах фойяитов и пуласки-тов отмечается повышенное содержание Na_2O (до 4 мас. %), связанное, скорее всего, с присутствием в них наряду с микропертитами криптопертитов альбита, в то время как в породах расслоенной серии щелочные полевые шпаты характеризуются практически чисто калиевым составом.

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Существуют две альтернативные точки зрения на стадийность образования пород Сыннырского массива. Так, Г.В. Андреев [Andreev, 1965] считал, что пуласситы – это породы первой фазы, после становления которой вокруг центрального тела возникла зона повышенной проницаемости. В эту зону в дальнейшем произошло внедрение новой порции магмы, что привело к образованию трубчатого тела сынныритов. Однако большинство исследователей [Zhidkov, 1978; Orlova et al., 1993] придерживаются мнения, что сначала произошло становление лакколлитовой интрузии, сложенной расслоенной серией пород, а затем внедрение диапирового штока пуласситов. Присутствие среди пород первой фазы фойяитов или пород, близких по составу к фойяитам, отмечалось ранее в ряде работ [Kostyuk et al., 1990; Orlova et al., 1993]. Тем не менее они всегда рассматривались в составе расслоенной серии.

Совокупность приведенных данных по геологическому строению массива, особенностям химического и минерального состава пород, на наш взгляд, позволяет выделить фойяиты из состава расслоенной серии первой фазы массива в отдельную магматическую фазу. Дополнительным аргументом в пользу этого предположения может служить наличие выявленной ранее [Bainov et al., 1964] внутри поля развития фойяитов зональности, выраженной в смене от центра к краю лейкократовых пород меланократовыми.

Таким образом, мы предполагаем, что в формировании Сыннырского массива принимают участие три интрузивные фазы: 1) расслоенное тело фельдшпатоидных сиенитов и щелочных сиенитов (площадью около 400 км²), 2) центральный шток пуласситов (щелочных сиенитов) (площадью до 100 км²) и 3) восточное тело фойяитов (площадью 60–100 км²).

Полученные новые данные о ритмичном строении разреза Сыннырского массива послужат в дальнейшем отправной точкой для уточнения существующих петрологических моделей [Panina et al., 2022] или создания новых.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты геологического и минералого-геохимического изучения Сыннырского массива позволили уточнить особенности его внутреннего строения и сделать вывод, что в структурном плане интрузивная постройка массива имеет более сложную конфигурацию, чем считалось ранее, и представляет собой в разрезе тело переменной мощности. Кроме того, высказано предположение, что массив сформирован в результате внедрения трех интрузивных фаз.

7. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы посвящают данную статью светлой памяти Н.В. Владыкина, с которым в течение многих лет плодотворно сотрудничали и ценные комментарии которого получали в процессе полевых исследований.

В 2020 г. на Сыннырском массиве были проведены его последние полевые работы.

8. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

9. КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTERESTS

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Все авторы прочитали рукопись и согласны с опубликованной версией.

The authors have no conflicts of interest to declare. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

10. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Andreev G.V., 1965. Petrology of the Synnyr Alkaline Pluton. Buryat Publishing House, Ulan-Ude, 117 p. (in Russian) [Андреев Г.В. Петрология Сыннырского щелочного плутона. Улан-Удэ: Бурятское книжное издательство, 1965. 117 с.].

Bainov I.F., Babuev Zh.-D.Ts., Bushuev V.P., Krapivin A.G., 1964. Geological Structure and Mineral Resources. Sheets O-49-115-B and O-49-116-A. Report. Vol. 1. Buryat Geology, Ulan-Ude, 218 p. (in Russian) [Баинов И.Ф., Бабуев Ж.-Д.Ц., Бушуев В.П., Крапивин А.Г. Геологическое строение и полезные ископаемые. Листы O-49-115-B и O-49-116-A: Отчет. Улан-Удэ: Бурятгеология, 1964. Т. 1. 218 с.].

Kostyuk V.P., Panina L.I., Zhidkov A.Ya., Orlova M.P., Bazarova T.Yu., 1990. Potassic Alkaline Magmatism of the Baikal-Stanovoy Rifting System. Nauka, Novosibirsk, 239 p. (in Russian) [Костюк В.П., Панина Л.И., Жидков А.Я., Орлова М.П., Базарова Т.Ю. Калиевый щелочной магматизм Байкало-Становой рифтогенной системы. Новосибирск: Наука, 1990. 239 с.].

Orlova M.P., Zhidkov A.Ya., Orlov D.M., Zotova I.F., 1993. Internal Structure and Formation of the Synnyr Alkaline Massif. Geochemistry 8, 1161–1182 (in Russian) [Орлова М.П., Жидков А.Я., Орлов Д.М., Зотова И.Ф. Внутренняя структура и формирование Сыннырского щелочного массива // Геохимия. 1993. № 8. С. 1161–1182].

Panina L.I., Rokosova E.Yu., Ryabukha M.A., 2022. Ultrapotassic Aluminosilicate Melts: Specifics of Formation by the Example of Synnyrites from the Synnyr Massif. Russian Geology and Geophysics 63 (2), 153–164. <http://doi.org/10.15372/GiG2021130>.

Rytsk E.Y., Velikoslavinskii S.D., Smyslov S.A., Kotov A.B., Glebovitskii V.A., Bogomolov E.S., Tolmacheva E.V., Kovach V.P., 2017. Geochemical Peculiarities and Sources of Late Paleozoic High-K and Ultrapotassic Syenite of the Synnyr and Tas Massifs (Eastern Siberia). Doklady Earth Sciences 476, 1043–1047. <https://doi.org/10.1134/S1028334X17090070>.

Savatenkov V.M., Rytsk E.Yu., Velikoslavinskii S.D., Lebedeva Yu.M., 2019. Isotope (Nd-Sr) Features and Possible Sources of Ultrapotassium Alkaline Rocks of the Synnyr

Massif (Northern Baikal Region). Proceedings of the Fersman Scientific Session of the GI KSC RAS 16, 497–501 (in Russian) [Саватенков В.М., Рыцк Е.Ю., Великославинский С.Д., Лебедева Ю.М. Изотопные (Nd-Sr) характеристики и возможные источники ультракалийевых щелочных пород Сыннырского массива (Северное Прибайкалье) // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН, 2019. Т. 16. С. 497–501]. <https://doi.org/10.31241/FNS.2019.16.101>.

Ushakov A.A., Morozov S.I., Zhidkov A.Ya., 1986. Results of Assessment of Potash-Aluminous Ores within the Synnyr Alkaline Massif. Report by the Synnyr Expedition for Period 1979–1986. Buryat Geology, Ulan-Ude, 160 p. (in Russian) [Ушаков А.А., Морозов С.И., Жидков А.Я. Результаты поисково-оценочных работ на комплексные калийно-глиноземные руды в пределах Сыннырского щелочного массива: Отчет Сыннырской партии 1979–1986 гг. // Улан-Удэ: Бурятгеология, 1986. 160 с.].

Zhidkov A.Ya., 1961. New Northern Baikal Alkaline Province and Some Features of Nepheline Content in Rocks. Doklady of the USSR Academy of Sciences 140 (1), 181–184 (in Russian) [Жидков А.Я. Новая Северо-Байкальская

щелочная провинция и некоторые черты нефелиноносности ее пород // Доклады АН СССР. 1961. Т. 140. № 1. С. 181–184].

Zhidkov A.Ya., 1962. Complex Synnyr Intrusion of Syenites within the North Baikal Alkaline Province. Geology and Geophysics 9, 29–40 (in Russian) [Жидков А.Я. Сложная Сыннырская интрузия сиенитов Северо-Байкальской щелочной провинции // Геология и геофизика. 1962. № 9. С. 29–40].

Zhidkov A.Ya., 1963. Unique Deposit of Pseudo Leucite Ultra-K Syenites. Doklady of the USSR Academy of Sciences 152 (12), 414–417 (in Russian) [Жидков А.Я. Уникальное месторождение псевдолейцитовых ультракалийевых сиенитов // Доклады АН СССР. 1963. Т. 152. № 12. С. 414–417].

Zhidkov A.Ya., 1978. Classification and Distribution of Potassic-Aluminiferous Ores in the Synnyr Alkaline Massif. Doklady of the USSR Academy of Sciences 242 (5), 1140–1143 (in Russian) [Жидков А.Я. Типизация и распределение калийно-глиноземистых руд в Сыннырском щелочном массиве // Доклады АН СССР. 1978. Т. 242. № 5. С. 1140–1143].