

УДК 552.3/6

Терехов Егор Валерьевич

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: planeta5.voshod3@gmail.com**Кезина Татьяна Владимировна**

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: tkezina@mail.ru**TerekhovEgorValerievich**

Amur State University

Blagoveshchensk, Russia

E-mail: planeta5.voshod3@gmail.com**Kezina Tatyana Vladimirovna**

Amur State University

Blagoveshchensk, Russia

E-mail: tkezina@mail.ru**РАДИАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МАГМАТИЧЕСКИХ И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД ГОРЫ БИКЕЛЬДЕУЛЬ (ХРЕБЕТ СОКТАХАН)****RADIATION PROPERTIES OF IGNEOUS AND METAMORPHIC ROCKS OF MOUNT BEKELDEUL (SOKTAKHAN RIDGE)**

Аннотация. В статье приведены результаты изучения радиационных свойств коллекции магматических и метаморфических пород горы Бекельдеуль (хребет Соктахан). Определены в них содержания калия, тория и урана, а также мощности ионизирующего излучения и произведен их анализ.

Abstract. The article presents the results of radiation properties studying the collection of igneous and metamorphic rocks of Mount Bekeldeul (Soktakhan ridge). The contents of potassium, thorium and uranium in the studied rocks, as well as the power of their ionizing radiation, were determined and analyzed.

Ключевые слова: гора Бекельдеуль, горные породы, метаморфизм, ионизирующее излучение, гамма-спектрометр, радиометр, калий, торий, уран.

Key words: Mount Bekeldeul, rocks, metamorphism, ionizing radiation, gamma-ray spectrometer, radiometer, potassium, thorium, uranium.

Введение

Гора Бекельдеуль (высотой 1469 м над уровнем моря) расположена на территории Зейского района Амурской области и является самой высокой точкой хребта Соктахан. Большинство окружающих высот имеют абсолютную отметку – 600–800 м. Склоны изрезаны каровыми ложбинами. В нижней части скалистые останцы и шлейфы осыпей. Территория

сильно расчленена. Округлая вершина Бекельдеуля представлена в основном гольцами, а местами покрыта каменистым элювием с зарослями кедрового стланика [1]. На склонах развита лиственничная тайга. Северный и северо-западный склоны горы более пологие.

Климат района суровый. Осадков выпадает 480-630 мм в год. Зима холодная. Лето умеренно-жаркое, с преобладанием пасмурных и дождливых дней. Снежный покров образуется в первой половине ноября, толщина его на открытых участках – 15-20 см, в лощинах – 28-40 см.

Гидрографическая сеть представлена участком береговой линии Зейского водохранилища, и горными участками рек Алгая, Окака, Бекельдеуль. Их русла каменистые, течение быстрое. Питание рек дождевое.

Почвы горные буро-таежные, иллювиально-гумусовые и горные буротаежные, сформированные на многолетнемерзлых горных породах [1].

История изучения магматических и метаморфических пород района

Начало геологических исследований района связано с открытием и разработкой в бассейне Зеи в середине XIX века богатых золотоносных россыпей.

В 1898-1914 гг. силами Геологического комитета (П.К. Яворовский, М.М. Иванов, П.Б. Риппас, Я.А. Макиров, Э.Э. Анерт и др.) в бассейне Зеи осуществлялись маршрутные исследования [5].

С 1928 г. по 1935 г. разрозненные геологические исследования проводились Э.Э. Анертом, Г.В. Холмовым, и Г.К. Быковым. Площадное геологическое картирование территории листа и смежных районов началось только в 30-х гг. XIX века [8,9].

В 1936 г. в бассейне среднего течения Зеи геологической съемкой масштаба 1:200 000 занимался А.А. Кириллов. Предложенная им схема геологического строения во многом оказалась верной, она не потеряла значения и в наши дни [5].

В 1939 г. Депской экспедицией в составе Ю.А. Одица, Б.Н. Федорцева, Е.А. Федорова и др. была проведена геологическая съемка масштаба 1:100 000 в бассейнах рек Деп и Тында. Авторами отчета впервые было произведено расчленение метаморфических сланцев [14].

В 1954 г. М.С. Нагибиной были обобщены результаты исследования за 1948-1951 гг. в работе «Стратиграфия палеозоя Зее-Селемджинского междуречья» [7].

В 1955 г. геологическая съемка масштаба 1:200 000 в западной части рассматриваемого листа N-52-XX (2500 км²) проводилась партией ДВГУ под руководством Н.П. Саврасова. Схема расчленения метаморфических сланцев, предложенная этим исследователем, была принята всеми геологами [10].

Лишь с 1958 г. началось планомерное геологическое картирование Зейского района в масштабе 1:200 000. Территория листа N-52-XIV была закартирована В.С. Федоровским [11], листа N-52-XIX – М.В. Павленко, листа N-52-XXГ – В.В. Шихановым [12], листа N-52-XXVII – В.Ф. Зубковым и А.А. Майбородой [13]. В 1960-1961 гг. Ю.А. Мамонтовым была завершена геологическая съемка листа N-53-XX (2500 км²).

Геологическое картирование масштаба 1:200 000 проводилось в комплексе с дешифрированием аэрофотоснимков, интерпретацией данных аэромагнитной съемки, шлиховым и донным опробованием гидросети, спектрометаллометрией и детальными поисками полезных

ископаемых на отдельных участках [5].

В основу геологической карты и объяснительной записки были положены материалы Н.П. Саврасова и Ю.А. Мамонтова, при этом учтены результаты всех проведенных ранее работ [10,5]. Определенную роль в подготовке стратиграфической схемы сыграли находки животской фауны М.Т. Турбиным [15] и онколитов и катаграфий вендского возраста Ю.С. Ляховкиным [17].

В 1976 г. вышла в свет геологическая карта Амурской области масштаба 1: 500000, в том числе листа №52-В, авторами которого являлись А.С. Вольский и Б.Л. Годзевич [26].

В 1983 г. М.В. Мартынюком была предложена схема тектонического районирования, во многом отличающаяся от ранее принятой схемы Л.И. Красного [18]. Возраст отложений Янкано-Джагдинского звена принят в интерпретации В.В. Шиханова, а диабазы, приуроченные к Малотындинскому прогибу, а также габброиды г. Бекельдеуль, отнесены авторами к буриндинскому комплексу, массивы кварцевых диоритов и гранодиоритов верховьев р. Аблюкун и Олирльджан – к верхнезейскому комплексу, а гранодиорит-порфиры, прорывающих их, – к керакскому.

В 1987 г. была опубликована геологическая карта листа N-52; N-53 масштаба 1:100000 под редакцией К.М. Заблоцкого [19]. Отложения мезозоя, картируемые вдоль Северо-Тукурингского разлома, были разделены авторами на ранне-среднеюрскую, среднеюрскую толщи и холоджиканскую свиту позднеюрского возраста. Диабазы, прорывающие эти отложения, на карте отражены как раннемеловые диоритовые порфириты, стратифицируемые образования усть-гилюйской серии отнесены авторами к архею и разделены на арбинскую и мотовинскую свиты [19].

Среди интрузивных образований, кроме пиканского комплекса, Ю.А. Мамонтов выделил следующие образования:

- 1) ранне-протерозойские гранодиориты, кварцевые диориты, соскладчатые с породами усть-гилюйского комплекса;
- 2) катаклазиты и милониты по гранодиоритам и плагиогранитам в тектоническом клине в бассейне кл. Руденкина;
- 3) раннемеловые интрузии кислого и среднего состава, а также зеленокаменно-измененные диабазы и габбро-диабазы, картируемые вдоль крупного тектонического разлома, разделяющего верхнетриасовые и синийские отложения;
- 4) позднемеловые габбро, габбро-диориты и диориты горы Бекельдеуль.

Определение возраста пород интрузивных ассоциаций, выделяемых в пределах Пиканского массива Тукурингского террейна, было выполнено А.А. Сорокиным с использованием U-Pb и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопных методов датирования [6].

Морфологические особенности циркона из пробы позволили сделать вывод об его магматическом происхождении. Значение возраста в 468 ± 4 млн. лет, полученное для двух конкордантных¹ фракций, было принято в качестве возраста становления кварцевых диоритов габбро-тоналитовой высокоглиноземистой ассоциации Пиканского массива [6].

¹Конкордантный – сходный по геотипу.

U-Pb-изотопные исследования для гранитов, прорывающих габбро-тоналитовую ассоциацию, в совокупности с геохимическими данными, явились основанием для выделения позднесилурийской гранитоидной ассоциации. Соответственно возраст цирконов из образца гранитов (по четырем фракциям) в 415 ± 7 млн. лет интерпретируется как возраст кристаллизации родоначального для гранитов расплава [6].

Изотопные исследования также были выполнены для монофракции амфибола, в котором изотопный состав аргона является устойчивым в широком интервале температур. В результате были получены две тождественные оценки возраста 264.3 ± 1.3 млн. лет (по плато) и 264.4 ± 1.4 млн. лет (в изохронном варианте, СКВО=1.74). Близкое значение возраста получено и по редуцированному плато (около 40% выделившегося газа) для амфибола из диоритов – 265.8 ± 1.6 млн. лет [6].

Габброиды Бекельдеульского массива, ранее датируемые как позднемеловые, по ряду признаков отнесены условно к раннеархейским образованиям.

Образование «бекельдеульских» габброидов связывается геологами с раннеархейским магматизмом [2]. Поводом для этого послужило следующее:

- 1) близость схемы дифференциации габброидов горы Бекельдеудь с аналогичной схемой Джугджурского комплекса;
- 2) совпадение фигуративных точек анализов Бекельдеульского массива с полями составов земли Эндерби, Анабарского массива;
- 3) принадлежность к формации габбро-анортозитовых интрузий;
- 4) аналогичный петрографический состав с раннеархейскими породами, развитыми и в пределах гранулитовых комплексов Дамбукинского блока [2].

В 2007 г. Ю.Р.Волковой было установлено, что магматиты комплекса прорваны верхнесутамскими гранитоидами раннепротерозойского возраста. Возраст аналогичных пород составляет по U-Pb-методу – 2167-2680 млн. лет, а по K-Ar методу – $2320-2390 \pm 80$ млн. лет. Что говорит о принадлежности их к сутамскому комплексу раннего протерозоя (vPR_1^1 vs) [4].

Изучение радиационных свойств пород

Всего было изучено 38 образцов магматических и метаморфических горных пород горы Бекельдеуль, предоставленных ведущим геологом ФГУГП «Амургеология» Ю.Р. Волковой. Первоначально образцы документировали, фотографировали, а затем проводили лабораторные инструментальные исследования.

Гамма-спектрометром GS-512i замерялось содержание химических элементов K, U, Th. Использование радиометра RADEX RD1008 позволило оценить мощность экспозиционной дозы изучаемых горных пород источниками гамма- и бета-излучения. Это важно для понимания дозы по каждому виду излучения, так как у них разная проникающая способность и разная опасность. Прибор способен непрерывно производить одновременную оценку мощности амбиентной дозы гамма-излучения и плотности потока бета-частиц. Оценка полученных значений ведется с дисплея.

По результатам замеров были составлены таблицы содержаний K, U, Th, где калий определен в процентах: K (%), а U, Th – в г/т.

В магматических породах максимальное содержание K у габбро-амфиболитов –

3,71%. Это, вероятно, объясняется сравнительно высоким содержанием в породах плагиоклаза, хлорита и калиевого полевого шпата (КПШ).

У метаморфических пород, представленных алевритами, метапесчаниками и зелеными сланцами, содержания калия примерно одинаковые – около 3,4%.

Содержание урана наибольшее в образце габбро-амфиболитов (4,29 г/т) и достаточно высоко в габбро-анортозитах. Среди метаморфических пород максимальное значение у метапесчаника – 4,29 г/т. Высокое содержание урана в магматических породах установлено у габбро-амфиболита (4,29 г/т), что может быть связано как с присутствием продуктов распада, так и с контактом в коренном залегании с ураносодержащими породами.

Результаты замера тория показывают, что его содержание максимально в образцах метаморфических пород – в зеленых сланцах (11,75 г/т) и сравнительно высоко в алевролитах и метапесчаниках (до 11,5 г/т): возможно, в результате включения в горные породы определенного количества органического материала.

Более низкие значения тория отмечены в габбро-амфиболитах (9,88 г/т). Содержание тория в образцах магматических пород примерно одинаковое (10-10,35%). Результаты замеров приведены в таблице. Изменения энергетической шкалы при регистрации на уровне несоизмеримо меньшем, чем погрешности.

Результаты замеров содержания радиоактивных химических элементов гамма-спектрометром GS-512i и мощности экспозиционной дозы излучения прибором RADEXRD1008 (погрешность прибора: $\pm(15+3/H)$, где H – мощности дозы в мкЗв/ч).

Образец	Кол-во образцов	K, %	U, г/т	Th, г/т	mkZv	Th/U
Алевролиты	8	3,42	3,82	11,45	0,17	2,99
Метапесчаники	3	3,38	4,04	11,01	0,16	2,73
Зеленые сланцы	1	3,42	2,94	11,75	0,15	4,0
Диориты	6	3,52	3,58	10,1	0,14	2,79
Граниты	3	3,39	3,78	10,34	0,15	2,73
Габбро	8	3,57	3,66	10,65	0,16	2,91
Габбро-нориты	6	3,65	3,43	10,37	0,15	3,02
Габбро-анортозиты	2	3,29	3,95	10,81	0,18	2,74
Габбро-амфиболиты	1	3,71	4,29	9,88	0,15	2,30

Наибольшая мощность экспозиционной дозы наблюдается у образцов магматических пород – таких как габбро и габбро-анортозиты (0,18 мкЗв/ч), что, вероятно, связано с их структурой и составом. Полнокристаллическая крупнозернистая структура габбро-анортозитов позволяет большему количеству радиации проходить через породу, что увеличивает экспозиционную дозу.

В образцах метаморфических пород наибольшее значение экспозиционной дозы у алевролитов – 0,17 мкЗв/ч, это обусловлено повышенным содержанием тория и урана в породе. Соотношение Th/U в породах изменчивое, а наибольшее зафиксировано в зеленых сланцах (4 г/т).

Обсуждение полученных результатов

По результатам замеров были построены графики распределения содержаний K, U, Th. Анализ графиков показывает, что пики содержания K отмечаются в габбро-амфиболитах – 3,71%, в габбро-норитах – 3,65% и в габбро – 3,57% (рис. 1).

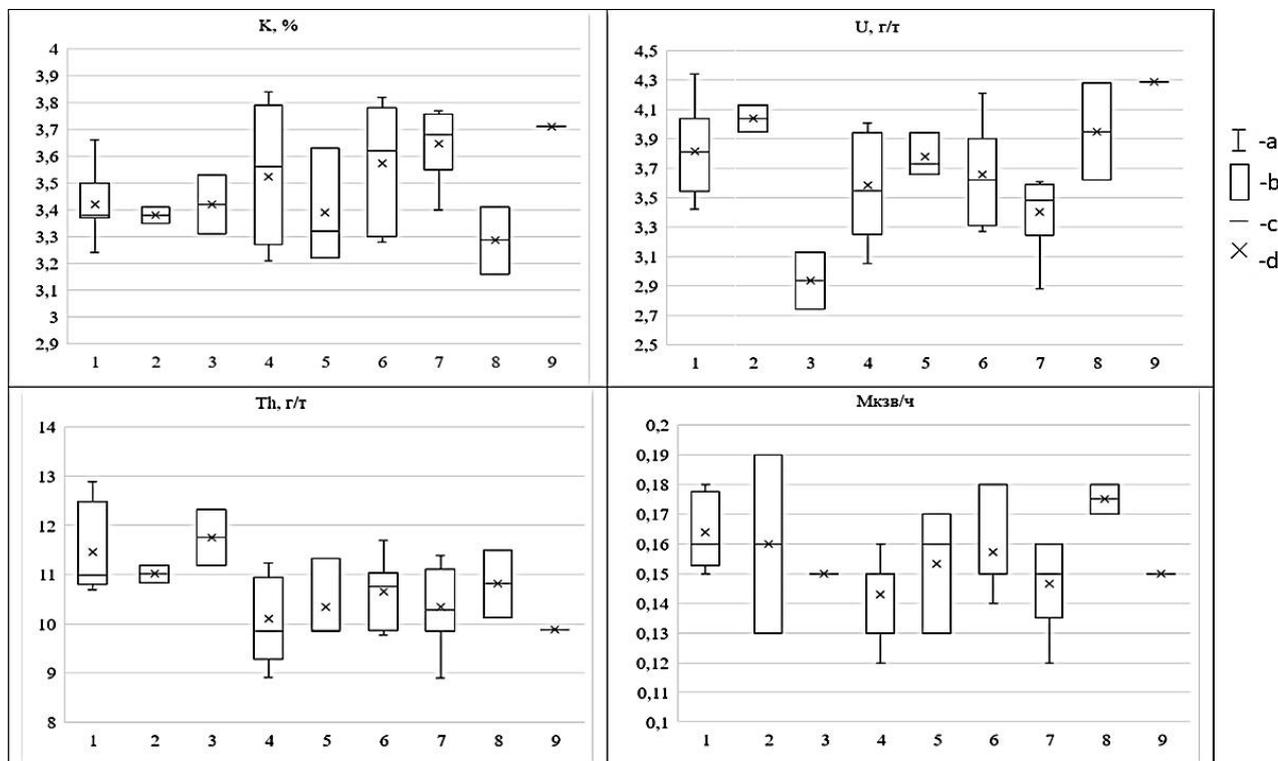


Рис. 1. Распределение содержаний K, U, Th и значений экспозиционной дозы в горных породах горы Бекельдеуль: (1 – алевролиты, 2 – метапесчаники, 3 – зеленые сланцы, 4 – диориты, 5 – граниты, 6 – габбро, 7 – габбро-нориты, 8 – габбро-анортозиты, 9 – габбро-амфиболиты (a – максимальное и минимальное значения, b – межквартильный размах, c – медиана, d – среднее арифметическое).

Содержания урана максимально в габбро-амфиболитах (4,29 г/т), высокое в метапесчаниках и габбро-анортозитах (3,95 - 4,04 г/т) и минимальное – в сланцах (2,94 г/т).

Содержания тория максимально в сланцах (11,75 г/т) и достаточно высокое в алевролитах и метапесчаниках (11-11,45 г/т). Наименьшее содержание тория отмечается в габбро-амфиболитах (9,88 г/т).

Результаты замера экспозиционной дозы дозиметром RADEXRD1008 показывают, что наибольшая мощность экспозиционной дозы наблюдается у габбро-анортозитов (0,18 мкзв/ч), а у алевролитов, метапесчаников и габбро – 0,17-0,16 мкзв/ч. Наименьшее значение у сланцев, габбро-норитов и габбро-амфиболитов (0,15-0,14 мкзв/ч).

На линейной диаграмме, приведенной на рис. 2, представлены содержания радиоактивных элементов Th и U. Содержания урана варьируют от 3,82 до 4,29 г/т. Значительными являются содержания тория – от 9,8 до 11,75 г/т.

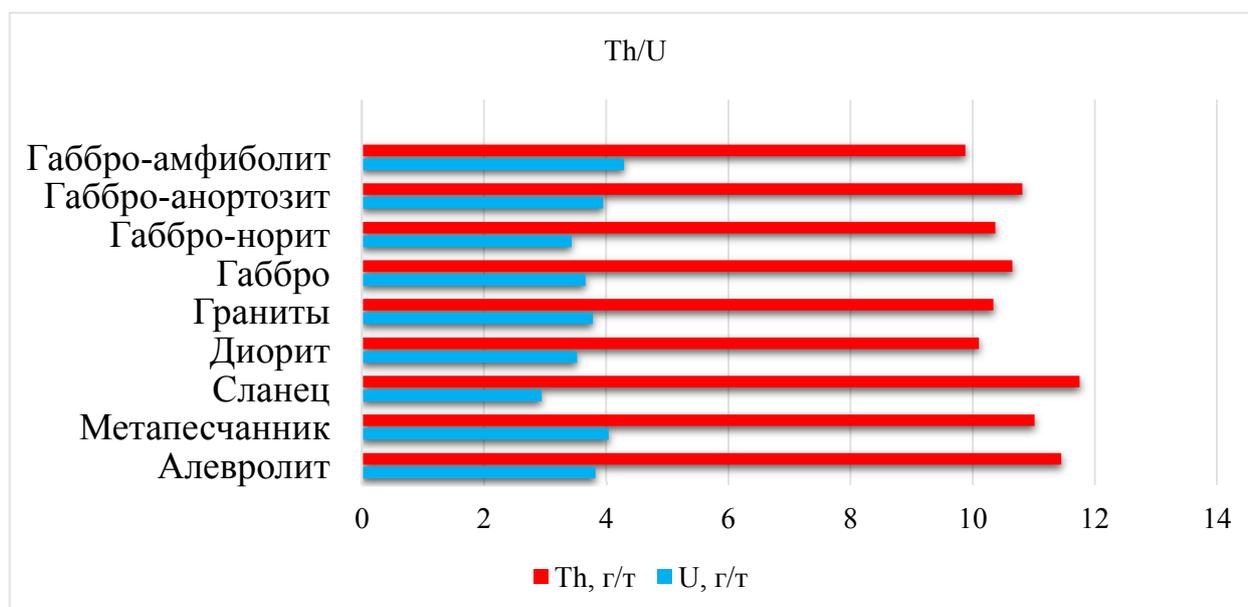


Рис. 2. Гистограмма экспозиционной дозы горных пород горы Бекельдеуль.

Содержание радиоактивных элементов в изученных образцах находится в пределах средних значений: Th (от 9,88 в метабазитах до 11,75 в осадочных породах); U (от 2,94 в осадочных и до 4,29 в метабазитах); K (от 3,71% в метабазитах и до 3,65% в основных породах). Мощности экспозиционной дозы исследованных образцов (0,14-0,18 мкзв/ч) не превышают допустимых значений (до 0,5 мкзв/ч).

Заключение

Анализ результатов замеров и построение гистограмм, где содержание K определено в процентах, а U, Th – в г/т, показывают следующее.

Максимальные значения процентного содержания калия отмечены в габбро (3,57%), габбро-норитах (3,65%) и габбро-амфиболитах (3,71%). Это объясняется сравнительно высоким содержанием в породах плагиоклаза, боулинита, хлорита и щелочного калиевого полевого шпата (КПШ).

Содержание урана максимально в габбро-амфиболитах (4,29 г/т), достаточно высоко в метапесчаниках, габбро-анортозитах и габбро-амфиболитах (3,95 - 4,04 г/т), а минимально – в зеленых сланцах (2,94 г/т). Содержание циркона и свинца в сланцах очень мало. Низкое содержание урана в зеленых сланцах говорит об отсутствии условий накопления урана либо о том, что процесс метаморфизации мог привести к перераспределению урана или его удалению.

Содержания тория максимально в зеленых сланцах (11,75 г/т) и сравнительно высоко в алевролитах и метапесчаниках (11-11,5 г/т). Наименьшее содержание тория отмечается в габбро-амфиболитах (9,88 г/т), это связано с наличием большого количества плагиоклаза, который содержит торий, но не в таких больших количествах. Концентрация тория возрастает от среднего состава к осадочным породам, накапливается в сланцах и алевролитах.

Наибольшая мощность экспозиционной дозы наблюдается у габбро-анортозитов (0,18

мкЗв/ч) и алевролитах и гранитах (0,17 мкЗв/ч). Высокая экспозиционная доза габбро-анортозитов связана с их структурой и составом. Они имеют крупнозернистую структуру, что означает, что зерна минералов в них более крупные, чем в большинстве других типов пород. Эта крупнозернистая структура позволяет большему количеству радиации проходить через породу, что увеличивает экспозиционную дозу.

Кроме того, габбро-анортозиты содержат минералы – такие как плагиоклаз и авгит, обладающие высокой способностью поглощать и излучать радиацию. Это также способствует увеличению экспозиционной дозы. Наименьшее значение у диоритов (0,14 мкЗв/ч) из-за сравнительного малого содержания кварца в составе.

Кислые магматические породы, к которым принадлежит гранит, иногда используют как сырье для добычи урана. Как правило, источником этих элементов является циркон или торит [8].

Породы с низким содержанием кварца или полевого шпата обладают ничтожно малой радиоактивностью, потому что они поглощают радиоактивные элементы. Но наиболее опасным может стать гранит, если он будет подвержен долгому воздействию радиации.

Значительное количество тория накапливается в зеленых сланцах в связи с процессами седиментации и диагенеза, когда торий связывается с органическим материалом и сохраняется в породе. Калий в магматических породах распределен неравномерно.

1. Алексеев, Л.М., Рудник, В.А., Смирнова, Г.П. Маршрутные геологические исследования в бассейне среднего течения р. Зeya (Информационный отчет Алексеевской партии по тематическим работам 1957 г. в Амурской области) – Л.: ВСЕГЕИ, 1957. – 180 с.

2. Волкова, Ю.Р. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна среднего течения реки Зeya. – Благовещенск: 1995. – 250 с.

3. Электронный петрографический справочник-определитель магматических, метаморфических и осадочных горных пород. Для оперативного использования при создании Госгеолкарт -1000/3 и 200/2 для территории Российской Федерации. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2015. – 890 с.

4. Волкова, Ю.Р. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист N52 – Зeya. Объяснительная записка /А.Н. Сережников, Ю.Р. Волкова, А.Л. Яшнов, М.Ю. Носырев и др. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. – 330 с.

5. Мамонтов, Ю.А. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Амуро-Зейская. Лист N-52-XX. – М.: Мингео СССР, 1968, 1972. – 46 л., 2 гр. пр.

6. Сорокин, А.А. Геодинамическая эволюция восточного сегмента Монголо-Охотского складчатого пояса: специальность 25.00.01 «Общая и региональная геология»: Дис. д-ра геолого-минералогических наук – Благовещенск, АмурНИЦ ДВО РАН, 2005. – 358 с.

7. Нагибина, М.С. Материалы по стратиграфии палеозоя Зее-Селемджинского междуречья // Вопросы геологии Азии. – Т. 1. – М.: АН СССР, 1954. – 735 с.

8. Анерт, Э.Э. Геологические исследования по реке Зее – Москва-Ленинград: Гос. науч.-техн. геол.-разведочное изд-во, 1932. – 42 с.

9. Холмов, Г.В. Материалы Зейской геохимической экспедиции. 1933-1934 гг. – Москва-Ленинград: АН СССР, 1935. – 96 с.

10. Саврасов, Н.П. Краткий обзор месторождений полезных ископаемых, тяготеющих к районам строительства гидроэлектростанций на р. Зeya, Селемджа и Буряя. – Хабаровск: Главвостокгеология,

1955. – 41 с.

11. Федоровский, В.С. Геологическое строение восточной части листа N-52-XIV. – Хабаровск: ДВГУ, 1959. – 2 кн., 127 с.

12. Шиханов, В.В. Геологическое строение и полезные ископаемые западной части листа N-52-XXI (Отчет по работам Депской партии в 1960 г.). – Хабаровск: ДВГУ, 1961. – 305 с.

13. Зубков, В.Ф., Майборода, А.А. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые восточной части листа N-52-XXVII. – Хабаровск: ДВГУ, 1962. – 78 с.

14. Одинец, Ю.А., Федорцев, В.А., Федоров, Е.Н. и др. Отчет о работах Депской экспедиции за 1939 г. – М.: "Золоторазведка", 1940. – 264 с.

15. Турбин, М.Т. Геологическая карта и карта полезных ископаемых СССР, м-б 1:200 000, серия Амуро-Зейская, лист N-52-XXII. – Л.: Ленинградская картфабрика, 1967. – 50 с.

16. Ляховкин, Ю.С., Годзевич, Б.Л., Крыжевич, С.С. Отчет о результатах геологического доизучения масштаба 1:50000 бассейнов рек Хугдер и Ульдегит. – Зея: Зейская ГСП, 1976. – 4 кн., 293 с.

17. Ляховкин, Ю.С., Крыжевич, С.С. Отчет о результатах АФГК м-ба 1:50 000 зоны БАМ на участке Зея-Нора территории листов N-52-52, N-52-78;-79;-90-А,Б; N-52-91; 92-В,Г; -93-В,Г; -94-В; -104-А,Б, В; -105-А,Б; -106-А,Б. – Зея: Зейская ГСЭ, 1979. – 4 кн., 656 с.

18. Мартынюк, М.В., Васькин, А.Ф., Вольский, А.С., Вольская, И.П. и др. Геологическая карта Хабаровского края и Амурской области масштаба 1:500000. – Хабаровск: ПГО "Дальгеология", 1983. 134 с.

19. Заблоцкий, Е.М., Лагздина, Г.Ю., Тарасова, В.Г. и др. Государственная геологическая карта СССР с объяснительной запиской. Масштаб 1:1.000.000 (новая серия). Лист N-52, (53) – Зея. – М.-Л.: Мингео СССР – ВСЕГЕИ, 1983, 1989. – 156 с.