

## ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 551.243(571.65)

### БАЛЫГЫЧАНО-СУГОЙСКИЙ КОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ РИФТ: СТРОЕНИЕ, ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ РАЗВИТИЯ И МЕТАЛЛОГЕНИИ

*Ливач А. Э., Третьякова Н. И.*

*ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт*

*им. Н. А. Шило ДВО РАН, г. Магадан*

E-mail: livach@neisri.ru; tretjakova@neisri.ru

Балыгычано-Сугойская структура образовалась в зоне раздвига, предположительно в результате разворота северного фланга Омогонского микроконтинента к югу и юго-востоку по Омсукчанскому глубинному разлому, и развивалась как континентальный рифт. К концу раннего мела рифт был выполнен угленосной молассой большой мощности. В рифтовой зоне активно протекали вулканические процессы, интрузивная деятельность и разнородное рудообразование. Данные геологического строения и история развития структуры подтверждают ее рифтовую природу.

**Ключевые слова:** Балыгычано-Сугойская структура, рифт, Омсукчанский разлом, раздвиг, мульда, омсукчанская серия, моласса, аскольдинская свита, перидотиты.

DOI: 10.34078/1814-0998-2022-2-3-13

#### ВВЕДЕНИЕ

До настоящего времени нет единого мнения о природе Балыгычано-Сугойской структуры. В. Т. Матвеев первым приводит ее обобщенное описание и называет структуру Балыгычано-Сугойским «грабенообразным» прогибом» (Матвеев, 1957), С. М. Тильман – Омсукчанским грабеном (Тильман, 1960), С. И. Филатов (Филатов, 1972), В. К. Политов (Политов, 1972) и В. М. Кузнецов (Государственная..., 2008) считают ее наложенным прогибом, А. П. Соболев (Соболев, 1973), В. А. Титов (Титов, 1970) – впадиной, Н. А. Горячев и др. (Горячев и др., 2007), И. Н. Котляр, Т. Б. Русакова (Котляр, Русакова, 2004), М. Н. Петрова и др. (Петрова и др., 2021), Р. Б. Умитбаев (Умитбаев, 1983) причисляют ее к рифтогенным структурам. В статье Н. Е. Саввы (2005) Балыгычано-Сугойская структура рассматривается как континентальный рифт в связи с ее металлогеническими особенностями.

Для впадин, грабенов и прогибов не характерно такое разнообразие проявлений вулканизма, интрузивного магматизма и рудогенеза, которым отличается Балыгычано-Сугойская структура. Данные последних лет подтверждают ведущую роль процессов рифтогенеза в ее формировании.

#### КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

Балыгычано-Сугойский рифт занимает секущее положение по отношению к складчатым структурам мезозойд, простираясь в субмеридиональном направлении на 250 км при ширине северного фланга 20 км, а южного – 80 км. С юго-востока его границей служит северо-восточный Буксундинский глубинный разлом Охотско-Чукотской системы разломов. Рифт заложен на структурах Сугойского синклиория и Балыгычанского поднятия, сложенных терригенными породами верхоянского комплекса, в состав которого входят свиты и толщи флишевой, флишеидной, тонкотерригенной, вулканотерригенной, диамиктитовой и туфогенно-терригенной формаций возрастного диапазона от поздней перми до поздней юры. Западнее рифта породы Среднеканской ветви Сугойского синклиория смяты в линейные складки северо-восточного простирания, а восточнее их простирание северо-западное. Структура, расположенная в междуречье Балыгычана и Сугоя – правых притоков р. Колыма в ее среднем течении, привлекла внимание геологов в конце 30-х гг. XX в. своей оловяноносностью. После открытия Ф. Ф. Павловым в 1939 г. Индустриального оловорудного месторождения началось интенсивное изучение этой территории и были открыты десятки мелких месторождений и рудопроявлений олова. С от-

крытием в 1968 г. крупного Дукатского золото-серебряного месторождения наступил новый этап в ее изучении, в результате которого выявлено несколько золото-серебряных и серебро-полиметаллических месторождений: Лунное, Арылах, Мечта, Гольцовое, Тидид, Перевальное и ряд других объектов. Попутно с золотом и серебром из руд извлекаются свинец, цинк и медь.

Балыгычано-Сугойская структура в плане имеет слабо изогнутую асимметричную коленообразную расширяющуюся к югу форму с хорошо выраженными контурами мульды (рис. 1). Строение мульды осложнено позднемеловыми вулканокупольными поднятиями (Дукатское, Арылахское, Корридорское), в которых залегают золото-серебряные руды, выступами блоков фундамента, ранне-позднемеловыми и меловыми интрузивами. Интрузивные массивы располагаются цепочками. Крупные интрузивы: Невский, Чапчикский, Арылахский, Светлинский, Егорлыкский гранитоидные массивы трассируют осевую часть структуры. Мелкие штоки и дайкоподобные субвулканические тела приурочены к дуговым разломам, что довольно отчетливо проявлено как в северной части рифта – в Арылахской мульде (Государственная..., 2007), так и в южной его части, где, как отмечено В. К. Политовым (Политов, 1972), от основного шва Омсукчанского разлома под острым углом отходят дуговые разломы, образуя структуру «конского хвоста». Крупные линейные субвулканические тела вдоль западного борта фиксируют трещинные каналы излияний кислой магмы в позднемеловое время. В центральной и восточной частях структуры преобладают небольшие лакколитоподобные тела по обрамлению вулкано-структур, а линейные тела так же, как и по западному обрамлению структуры, имеют субмеридиональную ориентировку. Они относительно маломощные. Субмеридиональная ориентировка интрузивных тел особенно отчетливо выражена в линейном размещении выступов массива Маяк по западному обрамлению структуры.

Балыгычано-Сугойская структура уже на ранней стадии развивалась как рифт. Она заложена по глубинному Омсукчанскому разлому, который разделяет Балыгычанское и Хетагчанское поднятия – опущенные блоки, соответственно, Приколымского поднятия и Омолонского микроконтинента. Омсукчанский разлом находится на южном продолжении Ярходонского глубинного разлома, разделяющего Омолонский микроконтинент и Приколымское поднятие. Оба разлома четко фиксируются геофизическими методами, трассируются цепочками интрузивных тел и вулканическими проявлениями.

Ярходонский разлом в гравитационном поле выражен резким градиентом изменения силы тяжести, расположенным в 10–20 км западнее основных поверхностных проявлений зоны разлома, что можно интерпретировать как подвиг Омолонского и Хетагчанского блоков под структуры Приколымского поднятия. В магнитном поле разлом не выражен. Омсукчанский разлом сопровождается гравитационной аномалией типа «ступень» (Вашилов, 1963). Балыгычано-Сугойская структура характеризуется также аэромагнитными аномалиями средней и высокой напряженности, которые, предположительно, могут быть вызваны значительными массами базитов на глубине (Умитбаев, 1983).

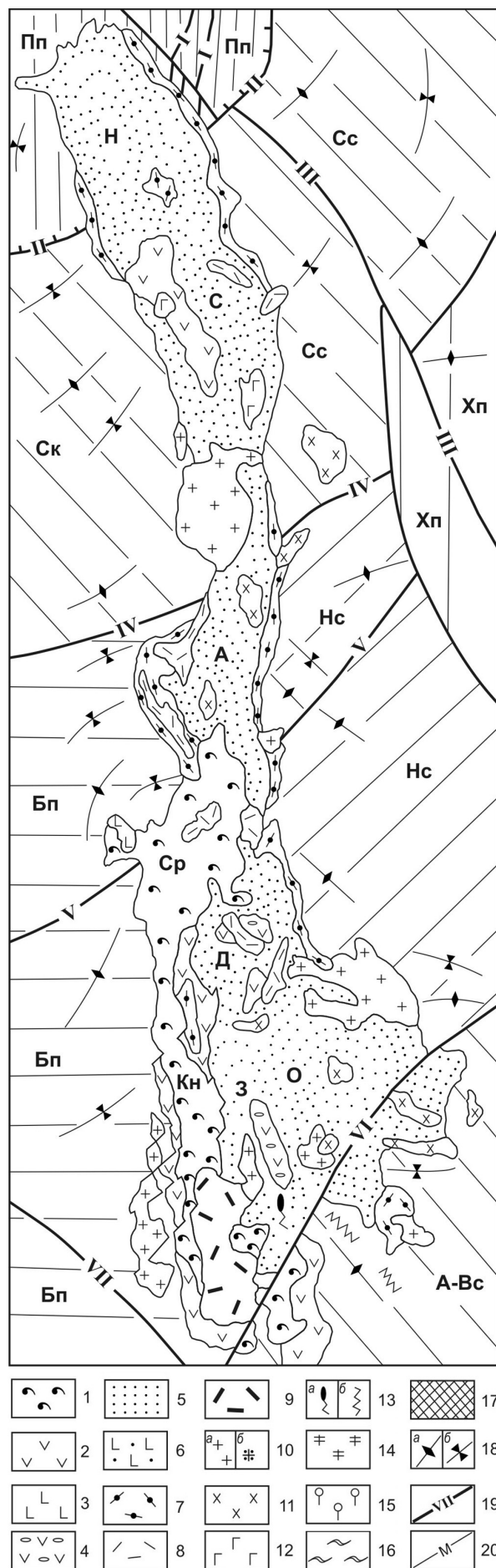
По данным МОВ-ОГТ (профиль 2-ДВ) земная кора под Балыгычано-Сугойской структурой имеет аномальное строение. На расстоянии 30–40 км вдоль профиля отчетливые сейсмические отражения установлены только до глубины 7 км от поверхности, а ниже следует зона сейсмической «прозрачности», которая прослеживается не менее чем на 30 км до мантии с разрывом границы М. «Прозрачность» может быть объяснена раздвиговыми и поворотными движениями блоков (Горячев и др., 2007; Государственная..., 2008).

#### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ БАЛЫГЫЧАНО-СУГОЙСКОЙ СТРУКТУРЫ

Структура имеет раздвиговую природу. Она заложена в раннем мелу, вероятно, в середине неокома – начале апта (Политов, 1972), в раздвиговой зоне Омсукчанского разлома. Раздвиг, видимо, был вызван разворотом северного фланга Омолонского микроконтинента по Ярходонскому разлому к югу и юго-востоку и сопровождался правостдвиговым смещением восточного блока (Хетагчанского) в этом направлении на 15–20 км с образованием зон растяжений типа пулл-апарт. Нарастающая дезинтеграция опущенных блоков в бортах разлома привела к формированию рифтовой долины с конседиментационными мульдами: Нягаинской, Светлинской, Арылахской, Джагынской, Омсукчанской и Зоринской (см. рис. 1). Их расположение придает структуре коленообразную форму. Заложение мульды сопровождалось извержениями лав контрастной бимодальной формации с преобладанием сапических пород. Процесс извержения лав носил прерывистый характер, излияния чередовались с периодами относительно спокойного накопления терригенного материала: песков, алевроитов и озерных илов, о чем свидетельствуют песчано-глинистые слои и пачки терригенных пород с аптской флорой среди пластов риолитов (рис. 2).

Рис. 1. Структурно-геологическая схема Балыгычано-Сугойского рифта. Составлена по материалам авторов (Государственная..., 1982; Государственная..., 2007) с использованием данных В. М. Кузнецова (1978 г.) и К. Л. Львова (1985 г.): 1–3 – третий структурный ярус: 1 – игнимбриты риодацитов (шороховская и наяханская свиты); 2 – андезиты, дациты и их пирокласты (каховская и таватумская свиты); 3 – базальты (джагынская толща); 4–7 – второй структурный ярус: 4 – вулканогенная моласса (зоринская свита); 5 – угленосная моласса (омсукчанская свита); 6 – базальты, андезибазальты, их кластолавы и туфы (арылахская толща); 7 – ультракислые риолиты (аскольдинская свита); 8 – субвулканические тела риолитов и риодацитов; 9 – субвулканическое тело невадитов; 10 – лейкограниты, граниты (а), гранит-порфиры (б); 11 – гранодиориты, диориты; 12 – габбро; 13 – перидотиты: Караганский шток (а), дайки (б); 14 – гранито-метаморфический слой; 15 – гранулит-базальтовый слой; 16 – литосферная мантия; 17 – перемещенные блоки фундамента рифта; 18 – оси антиклиналей (а), оси синклиналей (б); 19 – главные тектонические нарушения: I – ветви Ярхондонского разлома, II – Долинный надвиг, III – Сугойский, IV – Маратский, V – Кырчанский, VI – Верхнегепанский, VII – Сеймчано-Буюндинский разломы; 20 – поверхность Мохо. Структуры первого яруса. Поднятия: Пп – Приколымское; Хп – Хатагчанское; Бп – Балыгычанское. Синклинии: Ск – Среднеканский, Сс – Сугойский, Нс – Насучанский, А-Вс – Арманско-Вилигинская синклиналичная зона. Структуры второго структурного яруса. Мульды: Н – Нягаинская, С – Светлинская, А – Арылахская, Д – Джагынская, О – Омсукчанская, З – Зоринская. Структуры третьего структурного яруса. Вулканоструктуры: Ср – Сарманская, Кн – Кэнская

Fig. 1. Structural and geological scheme of the Balygychan-Sugoy rift. Compiled from the authors' materials (National..., 1982; National..., 2007), using data from V. M. Kuznetsov (1978) and K. L. Lvov (1985): 1–3 – third structural tier: 1 – ignimbrites of rhyodacites (Shorokhov and Nayakhan formations); 2 – andesites, dacites, and their pyroclasts (Kakhovsk and Tavatum formations); 3 – basalts (Jagyn formation); 4–7 – the second structural tier: 4 – volcanogenic molasse (Zorin formation); 5 – coal-bearing molasse (Omsukchan formation); 6 – basalts, andesibasalts, their clastolavas and tuffs (Arylakh strata); 7 – ultra-acidic rhyolites (Askold formation); 8 – subvolcanic bodies of rhyolites and rhyodacites; 9 – subvolcanic body of nevadites; 10 – leucogranites, granites (a), granite-porphyrines (b); 11 – granodiorites, diorites; 12 – gabbro; 13 – peridotites: Karagan stock (a), dykes (b); 14 – granite-metamorphic layer; 15 – granulite-basalt layer; 16 – lithospheric mantle; 17 – displaced blocks of the rift foundation; 18 – anticline axes (a), syncline axes (b); 19 – major tectonic disturbances: I – branches of the Yarkhodon fault, II – Valley thrust, III–VII – faults: III – Sugoy, IV – Marat, V – Kirchan, VI – Upper Tap, VII – Seymchan-Buyunda faults; 20 – Moho. Structures of the first tier. Uplifts: Пп – Prikolymye, Хп – Khetagchan, Бп – Balygychan; synclinories: Ск – Srednekan, Сс – Sugoy, Нс – Nasuchan, А-Вс – Arman-Viliga synclinal zone. Structures of the second structural tier. Potholes: Н – Nyagain, С – Svetlin, А – Arylakh, Д – Jagyn, О – Omsukchan, З – Zorin. Structures of the third structural tier. Volcanic structures: Ср – Sarman, Кн – Ken



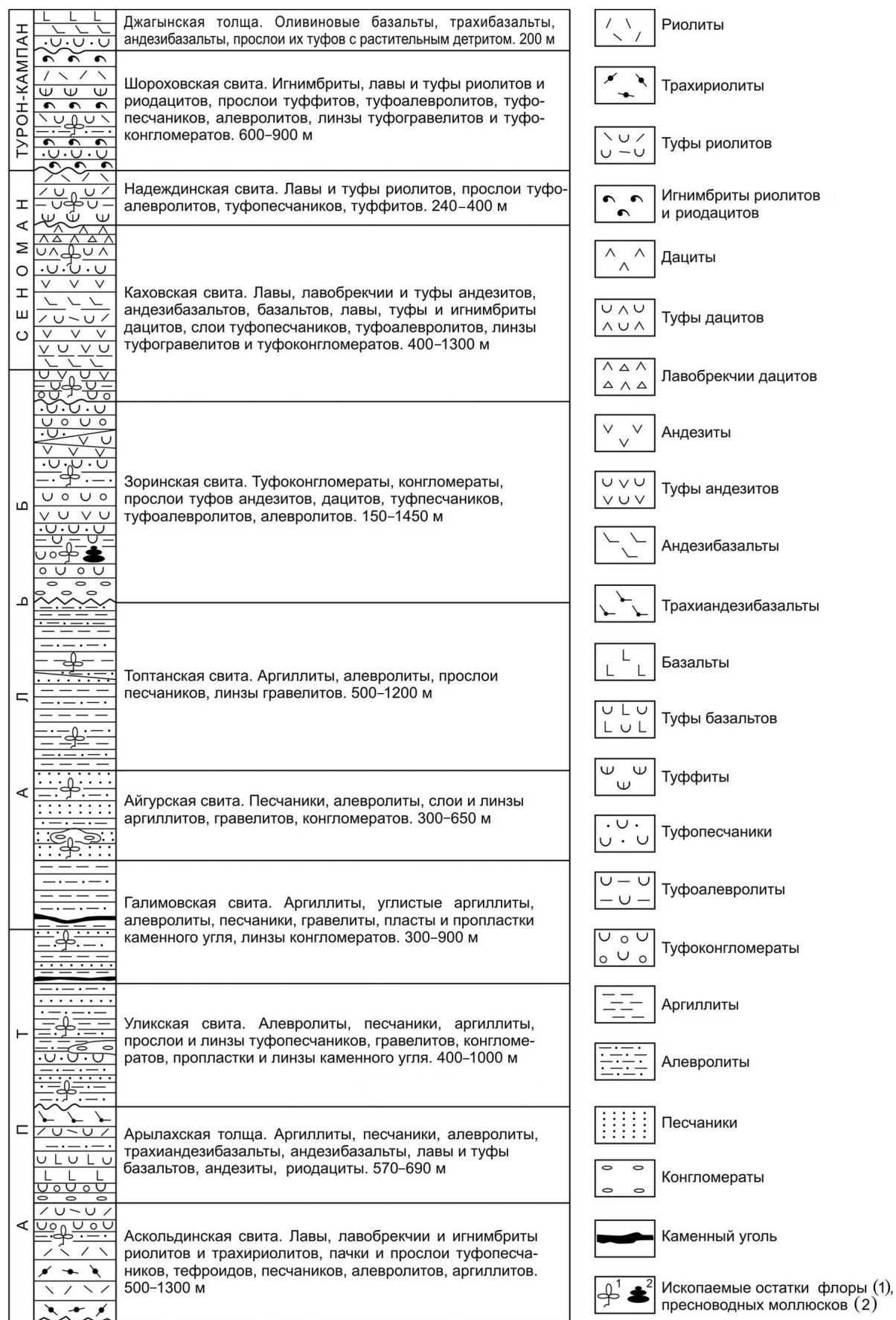


Рис. 2. Стратиграфическая колонка меловых отложений Балыгычано-Сугойского рифта

Fig. 2. Stratigraphic column of Cretaceous sediments from the Balygychan-Sugoy rift.

Мощность свиты кислых вулканитов колеблется от 250 до 1300 м, максимальная – на Дукатском месторождении. Возраст аскольдинских игнимбритов трахириолитов по U-Pb SHRIMP датированию  $134.6 \pm 1.3$  млн лет (Акинин, Миллер, 2011). Возраст кварц-сульфидных и кварц-хлорит-адуляровых жил раннего этапа рудообразования на месторождении, определенный Rb-Sr изохронным методом, составляет  $84 \pm 1$  млн лет, Ar-Ar методом – 80.6–85 млн лет, а возраст кварц-родонитовых жил второго этапа, по Rb-Sr датировкам, –  $74 \pm 5$  млн лет (Стружков и др., 1994).

По мере раздвигания и углубления Омсукчанского разлома с преобладанием кислых лав вулканизм сменился излияниями андезибазальтов и базальтов умереннощелочных разностей (арылахская толща). Пример такого контрастного базальт-риолитового вулканизма умереннощелочного ряда (хакдонская свита) мы находим в рифте Приколымского поднятия в рифейское время (Государственная..., 1974; Протопопов, Кириллин, 2003). Средние хими-

ческие составы вулканитов аскольдинской свиты и андезибазальтов арылахской толщи приведены в таблице.

Базальтовый вулканизм носил также прерывистый характер и в пределах структуры проявился неравномерно. В южной ее части он был более активным, что вполне закономерно, так как в этой части рифта растяжения максимальные и извержения происходили по нескольким каналам (рис. 3, 4). Таким образом, в Омсукчанской мульде в составе арылахской толщи объем базальтовых разностей пород значительно больше, чем в северной – Арылахской – мульде. В южной части рифта зона раздвигания достигла максимальной ширины, а разлом – верхней мантии.

К началу альба вулканическая деятельность в рифте затухает. Цикл базальтового вулканизма сменился спокойным – без вулканической деятельности – периодом накопления угленосной молассы (омсукчанская серия).

Мульды по мере заполнения угленосной молассой погружались и в результате соединились в общую структуру.

**Таблица. Химический состав магматических пород Балыгычано-Сугойского рифта по материалам (Соболев, 1973; Государственная..., 2007; Государственная..., 2009)**

**Table. Chemical composition of igneous rocks from the Balygychan-Sugoy rift after Sobolev, 1973; National..., 2007; National..., 2009**

| Компоненты, мас. %                   | 1     | 2     | 3     | 4      | 5     | 6      | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>                     | 76.08 | 57.25 | 58.64 | 64.10  | 55.21 | 62.42  | 65.41 | 71.34 | 39.59 | 59.91 | 75.70 |
| TiO <sub>2</sub>                     | 0.21  | 2.37  | 1.71  | 0.50   | 1.18  | 0.82   | 0.64  | 0.26  | 0.75  | 0.84  | 0.14  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | 13.07 | 14.46 | 15.16 | 16.80  | 18.74 | 16.96  | 15.64 | 14.79 | 6.70  | 16.68 | 12.70 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | 0.29  | –     | 1.89  | 1.23   | –     | –      | 1.50  | 0.93  | 4.74  | 2.09  | 0.50  |
| FeO                                  | 1.27  | –     | 6.85  | 4.70   | –     | –      | 2.71  | 2.16  | 8.61  | 4.60  | 1.73  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ.  | –     | 12.87 | –     | –      | 8.17  | 5.81   | –     | –     | –     | –     | –     |
| MnO                                  | 0.12  | 0.23  | 0.15  | 0.21   | 0.18  | 0.10   | 0.10  | 0.06  | 0.14  | 0.13  | 0.03  |
| MgO                                  | 0.21  | 2.27  | 3.43  | 1.01   | 3.31  | 2.04   | 1.50  | 0.43  | 27.87 | 2.51  | 0.32  |
| CaO                                  | 0.35  | 4.38  | 4.31  | 2.71   | 7.42  | 4.34   | 2.24  | 1.43  | 3.26  | 4.51  | 0.70  |
| Na <sub>2</sub> O                    | 1.11  | 3.39  | 2.79  | 4.49   | 3.25  | 3.35   | 3.77  | 3.76  | 0.43  | 3.99  | 3.33  |
| K <sub>2</sub> O                     | 6.45  | 2.23  | 2.01  | 2.48   | 1.44  | 2.58   | 2.83  | 3.82  | 0.45  | 2.41  | 4.21  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>        | 0.06  | –     | 0.28  | 0.15   | 0.29  | 0.19   | 0.21  | 0.05  | 0.30  | 0.26  | –     |
| Сумма*                               | 99.88 | 99.76 | 99.52 | 100.20 | 99.92 | 100.02 | 99.74 | 99.97 | 99.84 | 99.99 | 99.93 |
| Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O | 7.56  | 5.62  | 4.80  | 6.97   | 4.69  | 5.93   | 6.60  | 7.58  | 0.88  | 6.40  | 7.54  |
| Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O   | 0.20  | 1.61  | 1.39  | 1.81   | 2.26  | 1.30   | 1.33  | 0.98  | 0.96  | 1.67  | 0.79  |
| al'                                  | 8.79  | 0.92  | 1.25  | 2.42   | 1.63  | 2.16   | 2.74  | 4.20  | 0.16  | 1.85  | 4.98  |
| f'                                   | 1.95  | 15.43 | 13.80 | 7.44   | 12.66 | 8.67   | 6.35  | 3.78  | 41.97 | 10.07 | 2.69  |
| Кол-во анализов                      | 29    | 6     | 2     | 1      | 33    | 43     | 4     | 27    | 1     | 15    | 13    |

*Примечание.* В сумму входят также содержания H<sub>2</sub>O<sup>+</sup>, H<sub>2</sub>O<sup>-</sup>, CO<sub>2</sub> и п. п. 1 – калиевый риолит (аскольдинская свита); 2 – трахиандеибазальт; 3 – андеибазальт (арылахская толща); 4 – андезит (зоринская свита); 5 – андеибазальт; 6 – андезит; 7 – дацит (каховская свита); 8 – игнимбриты риодацита (шороховская свита); 9 – перидотит (Караганский шток); 10 – кварцевый диорит (Чапчикский массив); 11 – лейкогранит (Лево-Омсукчанский массив).

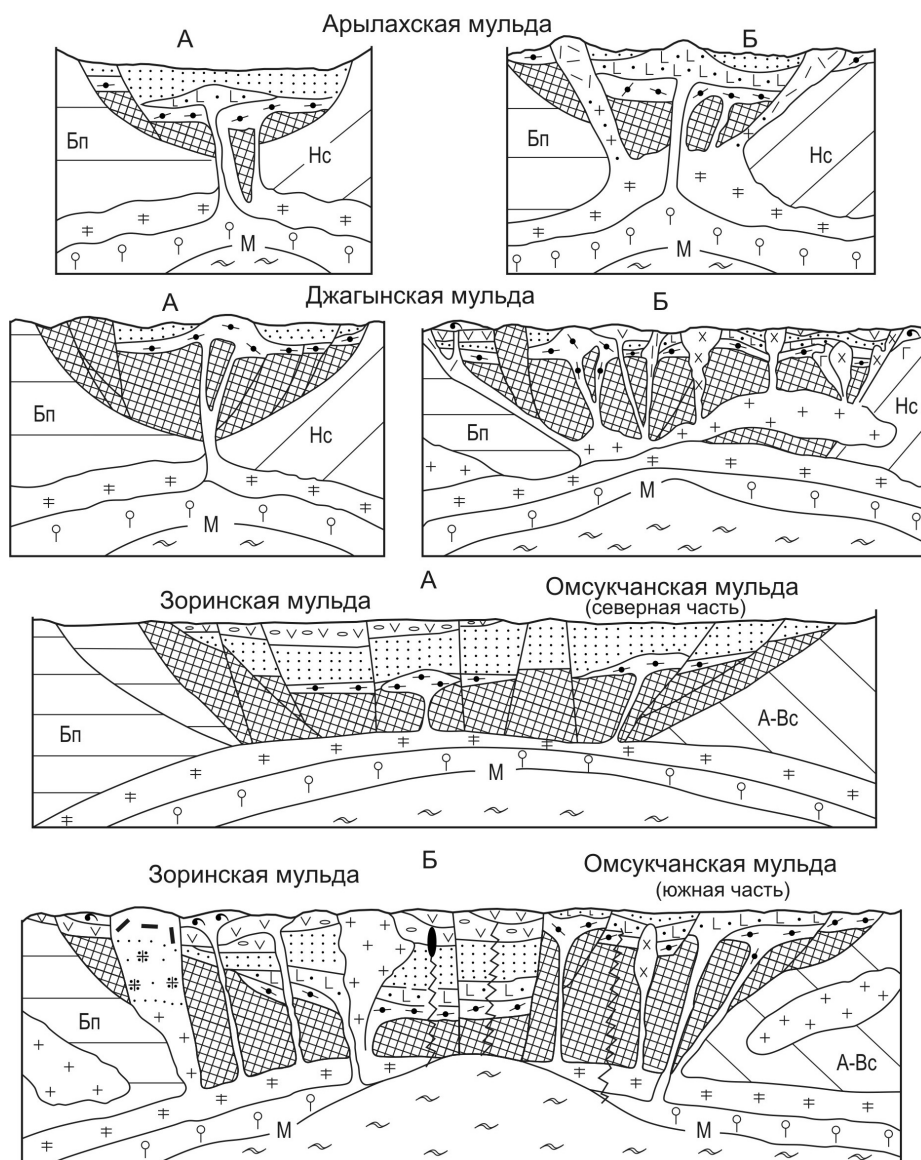


Рис. 3. Модель Балыгычано-Сугойского рифта. Составлена по материалам авторов (Государственная..., 2007; Государственная..., 2009) с использованием данных (Государственная..., 1982). А – конец раннего мела, Б – конец позднего мела. Условные обозначения на рис. 1

Fig. 3. Model of the Balygychan-Sugoy rift. Compiled from the authors' materials (National..., 2007; National..., 2009) using data from National..., 1982. A – end of the Early Cretaceous, Б – end of the Late Cretaceous. For the legend, see Fig. 1

Для мульд характерно изменение мощности угленосной молассы от минимальной на периферии до максимальной в центре. Максимальную мощность моласса имеет в южной части рифта: в Омсукчанской мульде она достигает 3700 м, а в северной части не превышает 1500 м. Суммарная мощность угольных пластов молассы 74 м при мощности отдельных пластов каменного угля 0.18–21 м. Этап накопления угленосной молассы сменился в конце позднего альба накоплением грубых вулканогенно-осадочных континентальных отложений: конгломератов, туфоконгломератов, гравелитов, песчаников, очень редко алевроли-

тов с синхронными слабыми извержениями андезитов. Сформировалась мощная (до 1450 м) вулканогенная моласса – зоринская свита, которую в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) можно, с долей условности, сопоставить по возрасту и составу с парнинской свитой Угулано-Вилигинской структурно-формационной зоны (Щепетов, 1988, 1991).

На разных горизонтах угленосной молассы (айгурская и топтанская свиты) зоринская свита залегает с угловым несогласием и с разрывом, имея в основании мощную пачку конгломератов (см. рис. 2). Вулканисты, перекрыва-

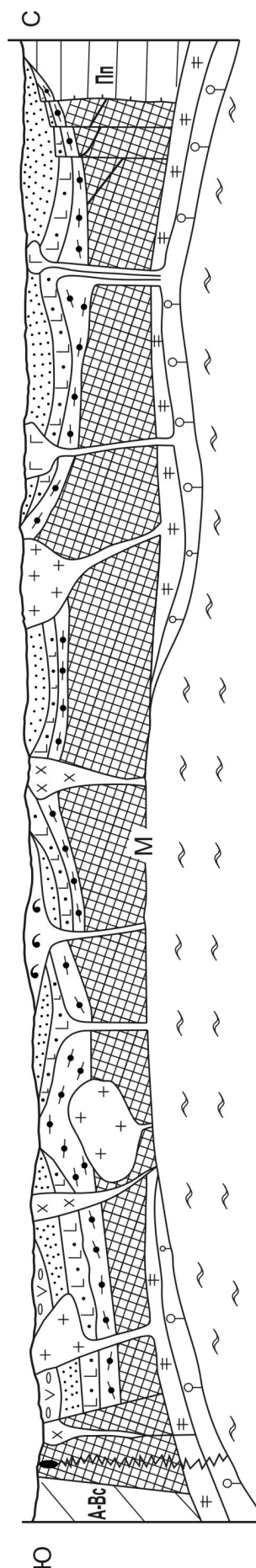


Рис. 4. Схематический продольный разрез Балыгычано-Сугойского рифта. Составлен по материалам авторов (Государственная..., 2007; Государственная..., 2009) с использованием данных (Политов, 1972; Умитбаев, 1983; Хаин, Михайлов, 1985; Горячев и др., 2007). Условные обозначения на рис. 1

Fig. 4. Schematic longitudinal section of the Balygychan-Sugoy rift. Compiled from the authors' materials (National..., 2007; National..., 2009) using data from Politov, 1972; Umitbayev, 1983; Khaib, Mikhailov, 1985; Goryachev et al., 2007. For the legend, see Fig. 1

ющие зоринскую свиту (каховская свита), залегают без признаков стратиграфического несогласия. Зоринская свита имеет сложное линзовидное строение, сильно изменчива по латерали. Она сложена конгломератами, туфоконгломератами, туфопесчаниками, песчаниками с прослоями туфов и лав андезитов, аргиллитов, алевролитов. В окрестностях пос. Невский мощность слоев андезитов – 1–5 м, пачек туфов андезитов – 10–30 м (Филатов, 1972). Вулканиды составляют около 20 % объема свиты. Конгломераты и туфоконгломераты плохо сортированные, состоят из хорошо окатанных галек осадочных, нередко сильно ороговикованных пород, реже андезитов и риолитов; встречаются единичные гальки диоритов, гранодиоритов, плагиогранитов и жильного кварца. В цементе туфоконгломератов присутствует примесь (10–30 %) пирокластического материала. Химический состав андезита зоринской свиты приведен в таблице. Для сравнения приводим химический состав ранне-позднемерловых андезитов каховской свиты, развитых на прилегающих площадях (Государственная..., 2009). В редких прослоях алевролитов зоринской свиты, наряду с остатками раковин пресноводных моллюсков, содержатся отпечатки растений (37 форм), возраст которых, по заключению В. А. Самылиной, «скорее всего, соответствует самым верхам альба» (Самылина, 1976).

Раннемерловый этап развития Балыгычано-Сугойской структуры, который проходил в условиях растяжения, является первым этапом формирования рифта. Он завершился незначительным сжатием, в результате чего моласса была смята в пологие складки и внедрились гипербазиты. Мелкие штоки перидотитов известны в верховьях р. Вилига (85-й км автодороги Омсукчан – Меренга) и р. Правый Омчикчан, они слагают субмеридиональные дайки в бассейне р. Эльге. Перидотиты прорывают осадочные породы верхнего триаса, а на левобережье р. Правый Омчикчан их дайки перекрыты позднемерловыми вулканитами. Калий-аргоновый возраст перидотитов из верховьев р. Вилига 98 млн лет (Матвеев, 1957). Перидотиты – зернистые породы, состоящие из крупных (5–10 мм) призматических кристаллов баркевикита (30–40%), округлых зерен (до 1 мм) оливина (30–40 %), лабрадора (5–8 %); присутствуют авгит и биотит, акцессорные минералы: апатит, ильменит, магнетит, флюорит. Химический состав перидотита Караганского штока (см. таблицу) близок химическому составу даек перидотитов из верховьев р. Вилига (Богдаева, Матвеев, 1958; Государственная..., 2009).

На втором этапе Балыгычано-Сугойский рифт развивался как ветвь ОЧВП, но со своими чертами магматизма и металлогении. Рифт, как и

другие перивулканические прогибы ОЧВП, отведен от него под крутым, близким к прямому, углом, имеет клиновидную форму и примыкает к вулканическому поясу широким основанием. Заложение вулканопрогибов, поперечных к простиранию ОЧВП, произошло в начале мела, синхронно со структурами Удско-Мургаляского вулканического пояса, в результате праводвигового перемещения Омолонского микроконтинента, но их масштабное развитие в меловой период, за исключением Балыгычано-Сугойского рифта, не состоялось. Причиной этого явления могли быть субдукционные процессы по внешнему обрамлению Удско-Мургаляской вулканической дуги, вызвавшие сжатие надсубдукционной плиты.

В начале сеномана в рифте сформировались толщи лав и пирокластов двупироксеновых андезитов и андезибазальтов, дацитов (каховская свита; в ОЧВП – таватумская свита) мощностью до 1300 м. Образуются Кэнская и Кырчанская вулканотектонические депрессии длительного развития и мелкие – Ветренская, Миражская, Хивэгчанская, Жарокская и Праводжагынская – вулканоструктуры кальдерного типа, в которых накопились мощные толщи вулканитов андезидацитового состава (см. рис. 1).

Постепенно в позднем сеномане затухание андезидацитового вулканизма в мелких вулканоструктурах сменилось накоплением тонкослоистой толщи (до 360 м) пирокластических и флюидалных лав кислого состава надеждинской толщи, аналогов которых в ОЧВП не имеется. В начальный этап формирования ОЧВП в Балыгычано-Сугойском рифте широко проявился гранитоидный магматизм. В глубоких ядрах вулканов, в осевой части рифта и по его восточному обрамлению происходит внедрение первых фаз быстринского интрузивного комплекса – образуются тела габбро-порфириров, диоритов, кварцевых диоритов (преобладают), диорит-порфириров. Наиболее крупные из них – Быстринский, Громада и Чапчикский массивы. На завершающем этапе внедрились гранодиориты как последняя фаза этих массивов и граниты Чапчикского массива. Химический состав кварцевых диоритов приведен в таблице.

В туроне в результате мощных извержений (мощность около 900 м) туфов и игнимбритов риодацитов (шороховская свита, а в ОЧВП ее аналог – наяханская свита) формируется Кэнская лавовая полоса и Сарманская вулканоструктура, завершилось становление крупного субвулканического тела невадитов в Кэнской лавовой полосе (Кузнецов, Ливач, 2005). В сантоне внедряются гранитоиды наяханского комплекса: массивы Кобзарь, Лево-Негаинский, Светлинский, завершилось формирование нескрытого массива под

Дукатским интрузивно-купольным поднятием. В кампане происходит внедрение лейкогранитов омсукчанского комплекса с образованием массивов Лево-Омсукчанский, Невский, Пестринский, Егорлыкский, Марат, а также Маякского массива по западному обрамлению рифта. Средневзвешенный конкордантный возраст цирконов из невадитов  $86.3 \pm 1$  млн лет, а из гранитов под Дукатским поднятием –  $84 \pm 0.8$  млн лет (Акинин, Миллер, 2011), из наяханских гранитов массива Кобзарь  $84.8 \pm 1.1$  млн лет и массива Светлинский –  $85.8 \pm 1.2$  млн лет (Петрова и др., 2021), из гранитов массива Маяк –  $82.5 \pm 2$  млн лет (Акинин, Миллер, 2011), из гранитов Лево-Омсукчанского массива –  $81.69 \pm 0.81$  млн лет (Государственная..., 2008).

Процесс рудообразования на Дукатском месторождении был длительным. На первом этапе сформировались кварц-сульфидные и кварц-хлорит-адуляровые жилы, возраст которых, определенный Rb-Sr изохронным методом, –  $84 \pm 1$  млн лет, Ar-Ar методом – 80.6–85 млн лет. На втором этапе –  $74 \pm 5$  млн лет (Rb-Sr метод) образовались кварц-родонитовые жилы (Стружков, Константинов, 2005).

Вулканическая деятельность в рифте завершилась локальными излияниями базальтовых и андезибазальтовых лав (джагынская толща) в мелких вулканоструктурах (Праводжагынская), внедрением небольших штоков габбро в Нягаинской мульде и повсеместным внедрением даек базальтов и фельзитовых риолитов, что весьма характерно для завершающего этапа развития рифтов.

#### МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РИФТА

Металлогения Балыгычано-Сугойского рифта поражает разнообразием. Структура насыщена месторождениями и рудопрооявлениями вулканогенной золото-серебряной, олово-серебряной, золото-редкометалльной, серебро-полиметаллической, касситерит-силикатной, касситерит-сульфидной рудных формаций, вулканогенно-плутоногенными проявлениями олова, серебра, золота, висмута, плутоногенными проявлениями золота, олова и вольфрама, кобальта и редких элементов (Савва, 2005).

Проявления золото-серебряной минерализации установлены во всех известных вулканокупольных поднятиях. Вероятно, не будет исключением и Нягаинская мульда на северном замыкании рифта, в которой вулканокупольное поднятие хотя и не установлено, но признаки золотого оруденения в виде шлиховых ореолов и месторождения Роговик имеются.

Металлогенической особенностью рифта является его олово- и вольфрамоносность, что не

характерно для других вулканических структур, поперечных к ОЧВП. Оловянная минерализация в Балыгычано-Сугойском рифте по отношению к золото-серебряной более поздняя и связана с позднемеловым магматизмом. Оловянные руды залегают в гранитах Егорлыкского, Лео-Омсулчанского, Невского, Пестринского и других массивов или в зонах их контактовых ореолов. Самородное золото и серебро в виде единичных зерен встречается в пробах из гранитов (Соболев, 1973). В оловянных рудах установлены содержания серебра и золота, нередко в промышленно значимых количествах: на Ново-Джагыном месторождении встречались содержания золота до 29 г/т, на Галимовском месторождении – до 10 г/т, содержания серебра – первые сотни граммов на тонну. Промышленно значимые содержания олова и вольфрама в золото-серебряных рудах не известны (Государственная..., 2007; Государственная..., 2009).

### ВЫВОДЫ

1. Балыгычано-Сугойский рифт образовался в раздвиговой зоне Омсулчанского глубинного разлома и отвечает всем признакам структур такого типа.

2. Рифт насыщен разнообразными магматическими образованиями и рудными месторождениями. В нем проявлены магматические образования нескольких интрузивных комплексов и вулканических формаций, локализованы множество оловянных, золото-серебряных и серебро-полиметаллических месторождений и рудопроявлений.

3. По поисковым признакам ресурсы полезных ископаемых рифта открытыми месторождениями не исчерпаны.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы весьма признательны члену-корреспонденту РАН Н. А. Горячеву за ценные конструктивные предложения, сделанные в процессе подготовки статьи к изданию, и инженеру М. К. Свиридовой за оформление графики.

### ЛИТЕРАТУРА

Акинин В. В., Миллер Э. Л. Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Петрология. 2011. Т. 19, № 3. С. 249–290.

Богидова М. В., Матвеев В. Т. Амфиболовый перидотит из бассейна р. Вилиги // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Магадан : Кн. изд-во, 1958. Вып. 13. С. 175–178.

Вашилов Ю. Я. Глубинные разломы юга Яно-Колымской складчатой зоны и Охотско-Чукотского вулканического пояса и их роль в образовании гранитных интрузий и формировании структур (по гео-

физическим данным) // Советская геология. 1963. № 4. С. 54–72.

Горячев Н. А., Бялбжеский С. Г., Кузнецов В. М., Палымский Б. Ф., Фельдман Л. Л. Особенности глубинного строения окраинно-континентальных магматических дуг на примере Северного Приохотья // Структура и строение земной коры Магаданского сектора России по геолого-геофизическим данным. Новосибирск : Наука, 2007. С. 118–133.

Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 200 000. Лист Q-56-XXXV, -XXXVI. Сер. Сугойская. Ленинград : ВСЕГЕИ, 1974.

Государственная геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Лист P-56-V. Сер. Верхнеколымская : Объяснительная записка. Москва, 1982. 92 с.

Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Лист P-56-XII (Аякс): 2-е изд. Сугойская серия. Санкт-Петербург : ВСЕГЕИ, 2007.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхне-Колымская. Лист P-56 – Сеймчан : Объяснительная записка. Санкт-Петербург : ВСЕГЕИ, 2008. 426 с.

Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Лист P-56-XVIII (Омсулчан) : 2-е изд. Сугойская серия : Объяснительная записка. Москва : Недра, 2009. 88 с.

Котляр И. Н., Русакова Т. Б. Меловой магматизм и рудоносность Охотско-Чукотской области: геохронологическая корреляция. Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2004. 152 с.

Кузнецов В. М., Ливач А. Э. Строение и металлогеническое районирование Балыгычано-Сугойского прогиба // Проблемы металлогении рудных районов Северо-Востока России : сб. науч. тр. Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2005. С. 156–177.

Матвеев В. Т. Петрология и общие черты металлогении Омсулчанского рудного узла (Северо-Восток СССР). Магадан, 1957. 73 с. (Труды ВНИИ-1; вып. 31).

Петрова М. Н., Петров С. Ю., Курапов М. Ю. Возраст и особенности состава интрузивных образований северной части Балыгычано-Сугойского рифтогенного прогиба (северо-восток России) // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2021. Т. 66. Вып. 3. С. 595–615.

Политов В. К. Тектоническое развитие Балыгычано-Сугойского прогиба // Локальное прогнозирование в рудных районах Востока СССР. Москва : Наука, 1972. С. 80–88.

Протопопов Р. И., Кириллин Н. Д. Стратиграфическая схема докембрия Приколымского поднятия // Геодинамика, магматизм и минерализация континентальных окраин Севера Пацифики : Материалы Всероссийского совещания, посвящ. 90-летию академика Н. А. Шило (XII годичное собрание Северо-Восточного отделения ВМО). Магадан, 3–6 июня 2003 г. Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2003. Т. 1. С. 93–96.

Савва Н. Е. Особенности металлогении континентального рифта на примере Дукацкого рудного района // Проблемы металлогении рудных районов Северо-Востока России : сб. науч. тр. Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2005. С. 196–219.

Самылина В. А. Меловая флора Омсукчана (Магаданская область). Ленинград : Наука, 1976. 207 с.

Соболев А. П. Петрохимические особенности биотитовых гранитов Балыгычано-Сугойской впадины // Магматизм Северо-Востока СССР. Москва : Наука, 1973. С. 40–51.

Стружков С. Ф., Константинов М. М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Москва : Научный мир, 2005. 320 с.

Стружков С. Ф., Константинов М. М., Аристов В. В., Рыжов О. Б., Шергина Ю. П. Новые данные по геологии и возрастному датированию золотых и серебряных жильных месторождений Омсукчанского района Охотско-Чукотского вулканического пояса // Колыма. 1994. № 9–10. С. 2–15.

Тильман С. М. Тектоническая карта Северо-Востока СССР масштаба 1 : 2 500 000 : Объяснительная записка. Магадан : Кн. изд-во, 1960. 192 с.

Поступила в редакцию 21.02.2022 г.

Поступила после доработки 02.03.2022 г.

Титов В. А. Тектоника. Сугойский окраинный прогиб // Геология СССР. Т. 30. Северо-Восток СССР. Москва : Недра, 1970. 295 с.

Умитбаев Р. Б. Строение и природа Омсукчанской впадины (Северо-Восток СССР) // Геология и геофизика. 1983. № 8. С. 56–62.

Филатов С. И. Схема стратиграфии континентальных отложений Балыгычано-Сугойского прогиба Северо-Востока СССР // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Магадан : Кн. изд-во, 1972. Вып. 20. С. 164–169.

Щенетов С. В. Стратиграфия меловых континентальных накоплений Омсукчанского района (Северное Приохотье). Магадан : СВКНИИ ДВО АН СССР, 1988. 60 с.

Щенетов С. В. Стратиграфия континентального мела юго-западного фланга Колымского нагорья. Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1991. 160 с.

## BALYGYCHAN-SUGOY CONTINENTAL RIFT: STRUCTURE, BASIC DEVELOPMENT FEATURES, AND METALLOGENY

A. E. Livach, N. I. Tretyakova

North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n. a. N. A. Shilo, FEB RAS, Magadan

The Balygychan-Sugoy structure was formed in the zone of expansion, presumably resulting from the reverse of the Omolon microcontinent northern flank to the south and southeast along the Omsukchan deep fault, and developed as a continental rift. By the end of the Early Cretaceous, the rift was filled with thick coal-bearing molasse. Volcanic, intrusive, and various ore formation processes were actively occurring in the rift zone. The data on the geological structure and the history of the structure development confirm its rift nature.

**Keywords:** Balygychan-Sugoy structure, rift, Omsukchan fault, expansion, pothole, Omsukchan series, molasse, Askold formation, peridotites.

### REFERENCES

Akinin, V. V., Miller, E. L., 2011. Evolution of Calcareous-Alkaline Magmas of the Okhotsk-Chukotka Volcanic Belt, *Petrology*. 19, 3, 249–290 [In Russian].

Bogidaeva, M. V., Matveyenko, V. T., 1958. Amphibole Peridotite from the Viliga River Basin, *Materials on Geology and Minerals in the North-East of the USSR*. Magadan. Iss. 13, 175–178 [In Russian].

Filatov, S. I., 1972. Scheme of of Continental Deposit Stratigraphy of the Balygychan-Sugoy Trough in the North-East of the USSR, *Materials on Geology and Minerals in the North-East of the USSR*. Magadan. Iss. 20, 164–169 [In Russian].

Goryachev, N. A., Byalobzhesky, S. G., Kuznetsov, V. M., Palymsky, B. F., Feldman, L. L., 2007. Features of the Deep Structure of Marginal Continental Magmatic Arcs Exemplified by Northern Priokhotye, *Structure and Architecture of the Earth Crust in the Magadan Sector of Russia (by Geological and Geophysical Data)*. Novosibirsk, Nauka. 118–133 [In Russian].

Kotlyar, I. N., Rusakova, T. B., 2004. Cretaceous Magmatism and Ore Content in the Okhotsk-Chukotka Area: Geochronological Correlation. Magadan, NEISRI FEB RAS [In Russian].

Kuznetsov, V. M., Livach, A. E., 2005. Structure and Metallogenic Regionalization of the Balygychan-Sugoy Trough, *Problems of Metallogeny in Ore Areas in Russia's North-East*. Magadan, NEISRI FEB RAS. 156–177 [In Russian].

Matveyenko, V. T., 1957. Petrology and General Features of Metallogeny of the Omsukchansky Ore Cluster (North-East of the USSR), *Proceedings of the VNII-1*. Magadan. Iss. 31, 73 [In Russian].

National Geological Map of the Russian Federation, 2007. Scale 1 : 200 000. Sheet R-56-XII (Ajax). 2<sup>nd</sup> Ed. Sugoy Series [Map]. St. Petersburg, VSEGEI [In Russian].

National Geological Map of the Russian Federation, 2008. Scale 1 : 1,000,000 (Third Generation). Upper

- Kolyma Series. Sheet R-56 – Seimchan [Explanatory note]. St. Petersburg, VSEGEI [In Russian].
- National Geological Map of the Russian Federation, 2009. Scale 1 : 200 000. Sheet R-56-XVIII (Omsukchan). 2<sup>nd</sup> Ed. The Sugoy Series [Explanatory Note]. Moscow, Nedra [In Russian].
- National Geological Map of the USSR, 1974. Scale 1 : 200 000. Sheet Q-56-XXXV, -XXXVI. Sugoy Series [Map]. Leningrad, VSEGEI [In Russian].
- National Geological Map of the USSR, 1982. Scale 1 : 200 000. Sheet R-56-V. Upper Kolyma Series [Map]. Moscow [In Russian].
- Petrova, M. N., Petrov, S. Yu., Kurapov, M. Yu., 2021. Age and Composition Features of Intrusive Formations in the Northern Part of the Balygychan-Sugoy Rift Trough (North-East of Russia), *Vestnik of Saint-Petersburg University. Earth Sciences*. 66, Iss. 3, 595–615 [In Russian].
- Polotov, V. K., 1972. Tectonic Development of the Balygychan-Sugoy Trough, *Local Forecasting in the Ore Areas in the East of the USSR*. Moscow, Nauka. 80–88 [In Russian].
- Protopopov, R. I., Kirillin, N. D., 2003. Stratigraphic Scheme of the Prikolymye Elevation in the Precambrian, *Geodynamic, Magmatism, and Minerageny of the North Pacific Continental Margins, Materials of All-Russia Session Devoted to the 90<sup>th</sup> Anniversary of Academician N. A. Shilo (12<sup>th</sup> Annual Meeting of the WMO North-East Division. Magadan, June 3–16, 2003)*. Magadan, NEISRI FEB RAS. 1, 93–96 [In Russian].
- Samylina, V. A., 1976. Cretaceous Flora of Omsukchan (Magadan Oblast). Leningrad, Nauka [In Russian].
- Savva, N. Ye., 2005. Features of the Continental Rift Metallogeny Exemplified by the Ducat Ore District, *Problems of Metallogeny in the Ore Districts of Russia's North-East*. Magadan, NEISRI FEB RAS. 196–219 [In Russian].
- Shchepetov, S. V., 1988. Stratigraphy of Cretaceous Continental Accumulations in the Omsukchan District (Northern Priokhotye). Magadan, SVKNII DVO AN USSR [In Russian].
- Shchepetov, S. V., 1991. Continental Cretaceous Stratigraphy in the Southwestern Flank of the Kolyma Highland. Magadan, NEISRI FEB RAS [In Russian].
- Sobolev, A. P., 1973. Petrochemical Features of Biotite Granites in the Balygychan-Sugoy Depression, *Magmatism in the North-East of the USSR*. Moscow, Nauka. 40–51 [In Russian].
- Struzhkov, S. F., Konstantinov, M. M., 2005. Metallogeny of Gold and Silver of the Okhotsk-Chukchi Volcanic Belt. Moscow, Scientific World [In Russian].
- Struzhkov, S. F., Konstantinov, M. M., Aristov, V. V., Ryzhov, O. B., Shergina, Yu. P., 1994. New Data on Geology and Age Dating of Gold and Silver Vein Deposits in the Omsukchan District of the Okhotsk-Chukotka Volcanic Belt, *Kolyma*. 9–10, 2–15 [In Russian].
- Tilman, S. M., 1960. Tectonic Map of the USSR North-East Scale 1 : 2 500 000 (Explanatory Note). Magadan [In Russian].
- Titov, V. A., 1970. Tectonics. Sugoy Marginal Trough, *Geology of the USSR. Vol. 30. North-East of the USSR*. Moscow, Nedra [In Russian].
- Umitbayev, R. B., 1983. Structure and Nature of the Omsukchan Depression (North-East of the USSR), *Geologiya i Geofizika*. 8, 56–62 [In Russian].
- Vashchilov, Yu. Ya., 1963. Deep Faults in the South of the Yana-Kolyma Folded Zone and the Okhotsk-Chukotka Volcanic Belt and Their Role in the Formation of Granite Intrusions and Structures (After Geophysical Data), *Sovietskaya Geologiya*. 4, 54–72 [In Russian].