



УСЛОВИЯ ГЕНЕРАЦИИ ГЛУБИННЫХ МАГМ В РАЙОНЕ ОСТРОВА СУЛАВЕСИ, ИНДОНЕЗИЯ (ДАННЫЕ ПО СЕЙСМОТОМОГРАФИИ И ТЕРМОБАРОГЕОХИМИИ)

А.В. Котляров¹, А.В. Яковлев², Н.В. Дмитриева¹, И.Ю. Сафонова¹, В.А. Симонов¹

¹ Новосибирск, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, kotlyarov@igm.nsc.ru

² Новосибирск, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН

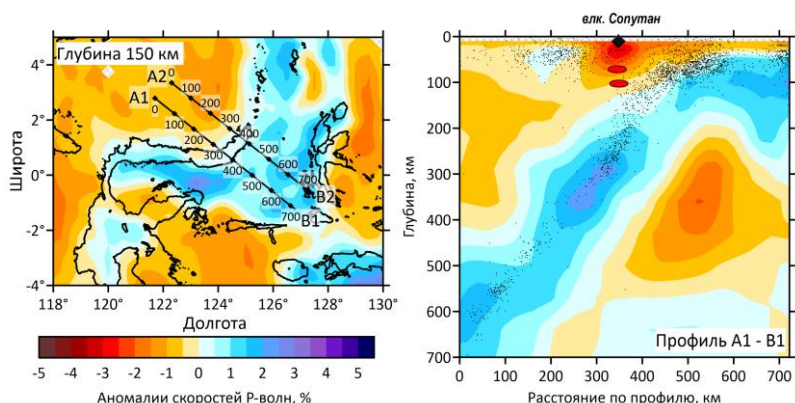
По данным предыдущих исследователей, остров Сулавеси (Индонезия) не является океаническим, а представляет сложный коллаж разрозненных тектонических блоков, которые образовались вследствие взаимодействия в кайнозое четырех тектонических плит – Индо-Австралийской, Тихоокеанской, Филиппинской и Евразийской. Остров Сулавеси разделяется на молодую северную часть, известную многочисленными проявлениями современного вулканизма, и южную часть, построенную на более древнем метаморфизованном основании. Вулканические постройки северной части острова образованы над зоной субдукции Северный Сулавеси и формируют вулканическую дугу протяженностью около 400 км на океанической коре эоценового возраста [1, 2]. Наибольший интерес для выяснения особенностей магматических процессов под активными вулканами острова вызывают эффузивные комплексы северо-востока. Здесь на относительно ограниченном участке присутствует сложная ассоциация, представленная кальдерой Тондоно и типичными вулканами Сопутан и Локон [3].

Расположение острова в зоне контакта литосферных плит определяет высокую сейсмическую активность региона. Для выяснения глубинного строения земной коры и мантии в районе северо-восточной части острова Сулавеси были использованы данные о многочисленных землетрясениях в изучаемой области, которые были зарегистрированы станциями мировой сети. На основании обработки данных глобального каталога Международного сейсмологического центра (ISC) с использованием алгоритма сейсмической томографии была получена модель неоднородностей скоростей Р-волн. При этом для выполнения томографической инверсии в данной работе мы применили подход, апробированный ранее для Арктического региона [4], а также зон субдукции под Курило-Камчатской и Алеутской дугами [5].

Р-Т-условия генерации первичных глубинных магм для острова Сулавеси были рассчитаны по методу [6]. Основой расчетов параметров глубинных магм с помощью этой методики служили главным образом данные по природным базальтовым стеклам, наиболее полно отвечающим составам существовавших расплавов. Стекла прогретых первичных включений играют такую же роль, соответствуя составам реальных расплавов, из которых рос минерал. В связи с этим подтверждается правомерность их использования для реконструкций условий глубинных источников магм. Подобные расчеты глубин магмогенерации для расплавов современных зон субдукции на основе данных по стеклам прогретых и закаленных включений были проведены нами ранее для магматических систем бассейна Вудларк [7] и Идзу-Бонинской островной дуги [8].

Полученная итоговая 3D модель верхнемантийных аномалий сейсмической скорости Р-волн под Сулавеси на рисунке представлена на срезе для глубины 150 км и при вертикальном сечении А1–В1, проходящем перпендикулярно удлинению северо-восточной части острова Сулавеси через вулкан Сопутан, для которого проделаны расчеты Р-Т-параметров магмогенерации.

На глубине 150 км мы видим четкое разделение литосферы к юго-западу от вулканической дуги с повышенной скоростью сейсмических волн и задуговую литосферу (Целебесское море), которая характеризуется пониженными скоростями. Граница между этими двумя зонами проходит под Северным Сулавеси, что можно объяснить различным строением этих частей. На сечении наблюдается четкое изображение зоны субдукции, верхняя граница которой маркируется гипоцентрами землетрясений. Под вулканом Сопутан погружающаяся плита имеет крутое падение под неизменным углом на всем своем протяжении, при этом слэб выражен достаточно четкой высокоскоростной аномалией Р-волн и в начале своего погружения в месте перегиба на



Разрез глубинных структур в районе северо-восточной части о. Сулавеси (по данным сейсмотомографии). Точки – гипоцентры землетрясений в пределах полосы не более 50 км от профиля. Овал – области магмогенерации по данным расчетного моделирования.

глубине 80 км сопровождается усилением сейсмичности. Таким образом, для дуги Северного Сулавеси мы четко прослеживаем погружающийся слэб вплоть до глубины 600–700 км. Повышенные значения скоростей Р-волн совпадают с распределением глубинной сейсмичности и могут считаться изображением зоны субдукции тихоокеанского типа.

При расчетах Р-Т-параметров глубинной генерации расплавов для острова Сулавеси по методу [6] использовались опубликованные данные о составе стекол расплавных включений в оливине из эффузивов вулкана Сопутан [9]. В результате расчетного моделирования было выяснено, что первичные мантийные расплавы вулкана Сопутан формировались на двух уровнях: 100–90 км (1550–1510 °С) и 80–60 км (1470–1415 °С). На рисунке эти интервалы располагаются на границах зон с гипоцентрами землетрясений. Верхняя область магмогенерации под вулканом Сопутан совпадает с положением максимума наиболее интенсивной отрицательной аномалии скоростей Р-волн.

В целом, установленные для острова Сулавеси глубины и температуры магмогенерации согласуются с полученными ранее данными по первичным расплавам примитивных островных дуг Тихого океана: Идзу-Бонинской [8] и Тонга [10].

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН, программы ФНИ FWZZ-2022-0017 и при поддержке РНФ, проект № 21-77-20022.

- [1] Advokaat E.L., Hall R., White L.T., Watkinson I.M., Rudyawan A., BouDagher-Fadel K. Miocene to recent extension in NW Sulawesi, Indonesia // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2017. V. 147. P. 378–401.
- [2] Baillie P., Decker J. Enigmatic Sulawesi: the tectonic collage // *Berita Sedimentologi*. 2022. V. 48. P. 1–30.
- [3] Pallister K.J.S., Bina K.F.R., McCausland W., Carn S., Haerani N., Griswold J., Keeler R. Recent explosive eruptions and volcano hazards at Sopotan volcano – a basalt stratovolcano in north Sulawesi, Indonesia // *Bulletin Volcanology*. 2012. V. 74. P. 1581–1609.
- [4] Яковлев А.В., Бушенкова Н.А., Кулаков И.Ю., Добрецов Н.Л. Структура верхней мантии Арктического региона по данным региональной сейсмотомографии // *Геология и геофизика*. 2011. Т. 52. № 6. С. 830–851.
- [5] Кулаков И.Ю., Добрецов Н.Л., Бушенкова Н.А., Яковлев А.В. Форма слэбов в зонах субдукции под Курило-Камчатской и Алеутской дугами по данным региональной томографии // *Геология и геофизика*. 2012. Т. 53. № 10. С. 1261–1272.
- [6] Schilling J.-G., Ruppel C., Davis A.N., McCully B., Tighe S.A., Kingsley R.H., Lin J. Thermal structure of the mantle beneath the equatorial Mid-Atlantic Ridge: Influences from the spatial variation of dredged basalt glass compositions // *Journal of Geophysical Research*. 1995. V. 100. № B7. P. 10057–10076.
- [7] Симонов В.А., Котляров А.В., Яковлев А.В. Плюмовый магматизм в современных и древних задуговых бассейнах // *Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)*. Вып. 17. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2019. С. 243–245.
- [8] Добрецов Н.Л., Симонов В.А., Буслов М.М., Котляров А.В. Магматизм и геодинамика Палеоазиатского океана на венд-кембрийском этапе его развития // *Геология и геофизика*. 2005. Т. 46. № 9. С. 952–967.
- [9] Kunrat S.L. Sopotan volcano, Indonesia: petrological systematics of volatiles and magmas and their bearing on explosive eruptions of a basalt volcano. *Dissertations and Theses*. 2017. 119 p.
- [10] Соболев А.В. Проблемы образования и эволюции мантийных магм: Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. М., 1997. 50 с.