

**НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО СТРАТИГРАФИИ, ВУЛКАНИЗМУ И ЦЕОЛИТОВОЙ
МИНЕРАЛИЗАЦИИ КАЙНОЗОЙСКОЙ ВАНЧИНСКОЙ ВПАДИНЫ,
ПРИМОРСКИЙ КРАЙ**

И.Ю. Чекрыжов¹, В.К. Попов¹, А.М. Паничев², В.В. Середин³, Е.В. Смирнова⁴

¹ Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр. 100 лет Владивостоку 159, г. Владивосток, 690022, e-mail: chekr2004@mail.ru

² Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, ул. Радио 7, г. Владивосток, 690041, e-mail: geogr@tig.dvo.ru

³ Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Старомонетный пер. 35, г. Москва, 119017, e-mail: vessel@igem.ru

⁴ Институт геохимии СО РАН, ул. Фаворского 1а, г. Иркутск, 664033, e-mail: dir@igc.irk.ru

Поступила в редакцию 29 декабря 2009 г.

Приведены результаты изучения кайнозойского вулканогенно-осадочного чехла Ванчинской впадины Сихотэ-Алиня. Установлено, что базальная часть кайнозойского разреза, по составу ископаемых растений соответствует палеоцену, а залегающая выше угленосная толща – раннему эоцену. Возраст вулканических пород, прорывающих и перекрывающих угленосные отложения, отвечает, согласно данным радиоизотопного датирования (К-Аг метод), уровню среднего эоцена: риолиты – 44.7 ± 1.0 , трахиандезиты – 43.7 ± 1.4 млн лет. Приводится петрографическая и геохимическая характеристика эффузивных и вулканогенно-осадочных пород и связанных с ними цеолититов. Цеолитизированные породы, содержащие растительный детрит, отличаются аномально высоким содержанием иттрия и тяжелых редких земель. Цеолитизация вулканического стекла, содержащегося в туфах, туффитах и перлитах, происходила под воздействием гидротермальных растворов, циркулирующих по зонам северо-западных разломов, и генетически связана с близповерхностным магматическим очагом.

Ключевые слова: кайнозой, стратиграфия, вулканизм, геохимия, цеолититы, Сихотэ-Алинь.

ВВЕДЕНИЕ

Кайнозойская Ванчинская впадина располагается в осевой части хребта Сихотэ-Алинь в верховьях р. Милоградовки (старое название – р. Ванчин). Ее центральную часть дренирует ручей Ванчин-Угольный (=Чернокаменский), а краевые части – ручьи Безымянный и Тигровый (рис. 1). Впадина, характеризующаяся небольшими размерами (3–5×15 км), выполнена кайнозойскими угленосными вулканогенно-осадочными отложениями.

История изучения кайнозойского чехла Ванчинской впадины насчитывает более 100 лет. Впервые третичные угленосные отложения здесь были описаны Я.С. Эдельштейном еще в 1900 г. (цит. по: Исполинов, 1963). В начале тридцатых годов прошлого столетия В.П. Михновичем при геологической съемке м-ба 1:200 000 были собраны растительные остат-

ки из угленосной толщи, по мнению Б.М. Штемпеля, свидетельствующие об ее олигоценовом возрасте (цит. по: Исполинов, 1963). В 1936 г Г.П. Воларовичем было осуществлено первое специализированное геологическое изучение этой структуры. В 1950–55 гг. Э.Г. Стромберг провела здесь разведку бурого угля, показавшую его ограниченные (первые сотни тысяч тонн) ресурсы. При последующих геолого-съемочных работах В.А. Исполинова, В.Г. Бабича (1961–63 гг.) и Ю.П. Бидюка (1965–68 гг.) были составлены геологические карты впадины и ее обрамления м-ба 1:50 000 и проведено стратиграфическое расчленение разреза кайнозойских отложений [1].

В начале 1970-х годов на юго-восточном фланге впадины И.Н. Томсон и В.С. Кравцов открыли золото-серебряное месторождение Союзное, разведывавшееся в дальнейшем коллективом геологов под руко-

водством Н.А. Матюшонка [24]. В середине 1970-х годов в вулканогенных и вулканогенно-осадочных отложениях впадины была обнаружена цеолитовая минерализация [8]. В 1988–94 гг. на площади, включающей Ванчинскую впадину, проводились геолого-поисковые работы под руководством Ф.И. Ростовского. В конце 1980-х здесь были выявлены угольные пласты с высокими концентрациями редкоземельных элементов [19] и установлена олово-порфировая минерализация в экструзии риолитов [22].

В настоящей статье приводятся результаты изучения кайнозойских вулканогенно-осадочных пород Ванчинской впадины, позволяющие пересмотреть существующие представления о времени проявления и закономерностях развития вулканизма и осадконакопления в этой структуре. Фактическую основу статьи составляют данные, полученные авторами в 1987–2007 гг. в процессе геолого-геохимического изучения Ванчинской впадины, а также материалы предшественников.

ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

В тектоническом отношении Ванчинская впадина представляет собой асимметричный грабен северо-западного простирания, хорошо проявленный в современном рельефе. Она имеет крутой юго-западный борт, выраженный в рельефе уступом вдоль Милоградовского разлома, и более пологий северо-восточный борт. Поперечными северо-восточными разломами впадина разбита на серию небольших блоков (рис.1).

Фундамент впадины слагают юрские и нижнемеловые терригенные отложения Таухинского и Журавлевского террейнов, а также поздне меловые и палеоценовые эффузивы Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса (рис. 1). В работах [1, 24] приведены данные о геологическом строении и составе вулканических комплексов, слагающих Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс. Они залегают в основании Ванчинской впадины и ее восточном обрамлении. В настоящей работе эти образования не рассматриваются. Впадина выполнена осадочными и вулканогенными образованиями мощностью до первых сотен метров. Для пород характерно моноклинальное залегание с падением слоев под углом 15–25° в направлении крутого юго-западного борта впадины. Вблизи продольных и поперечных разрывных нарушений структура чехла заметно усложняется, кайнозойские породы здесь часто имеют более крутое падение (30–60°) и отличную от генерального северо-западного простирания ориентировку слоев.

Максимальная мощность (до 100–200 м) кайнозойского чехла фиксируется в северо-западной части впадины (скв. 108 и 111), минимальная (первые десятки м) – в ее юго-восточном секторе, в районе месторождения Союзное. Характерна значительная фациальная изменчивость пород, невыдержанность элементов залегания. В юго-восточной части впадины вулканогенно-осадочные породы замещаются эффузивными образованиями (туфы, лавы, эксплозивные брекчии и экструзивные тела риолитов и дацитов). Разрез венчает толща аллювиально-пролювиальных отложений (фангломератов), мощность которых вблизи Милоградовского разлома достигает первых сотен метров.

В центральной части грабена фиксируется интенсивный гравитационный минимум. Наличие в этой части грабена поздних риолитовых покровов и экструзий, перекрывающих и прорывающих угленосные толщи, а также интенсивные гидротермальные изменения вулканогенно-осадочного чехла позволяют связать эту аномалию с близповерхностным магматическим очагом [19].

СТРАТИГРАФИЯ ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Согласно ранее принятой схеме [1], угленосные вулканогенно-осадочные породы, выполняющие Ванчинскую впадину, выделены в эоцен-олигоценую *угловскую* и согласно ее перекрывающую олигоценую *надеждинскую свиты*. На них несогласно залегают “липариты, их туфы и туфолавы” олигоценовой *брусиловской свиты*. Выше выделялись андезибазальты, андезиты и дациты, условно относимые к *сандуганской свите* раннемиоценового возраста. Венчает разрез мощная толща валунно-галечниковых отложений, сопоставлявшаяся с *суйфунской свитой* Западного Приморья (плиоцен).

Угленосные отложения, ранее выделявшиеся в *угловскую свиту*, с размывом и угловым несогласием залегают на гетерогенных породах фундамента депрессии. Нами они разделены на две толщи: базальную и угленосную. Базальная толща сложена плохо отсортированными конгломератами, состоящими из обломков юрских и меловых пород разной степени окатанности, сцементированных пелловым и песчано-глинистым материалом. Выше по разрезу залегает пачка переслаивающихся витрокристаллокластических туфов риолитов, туфопесчаников и туффитов. Мощность базальной толщи варьирует от 20 до 50 м.

Угленосная толща сложена туфогенными песчаниками, аргиллитами, туфоалевролитами с горизонтами гравелитов и конгломератов и маломощных (от

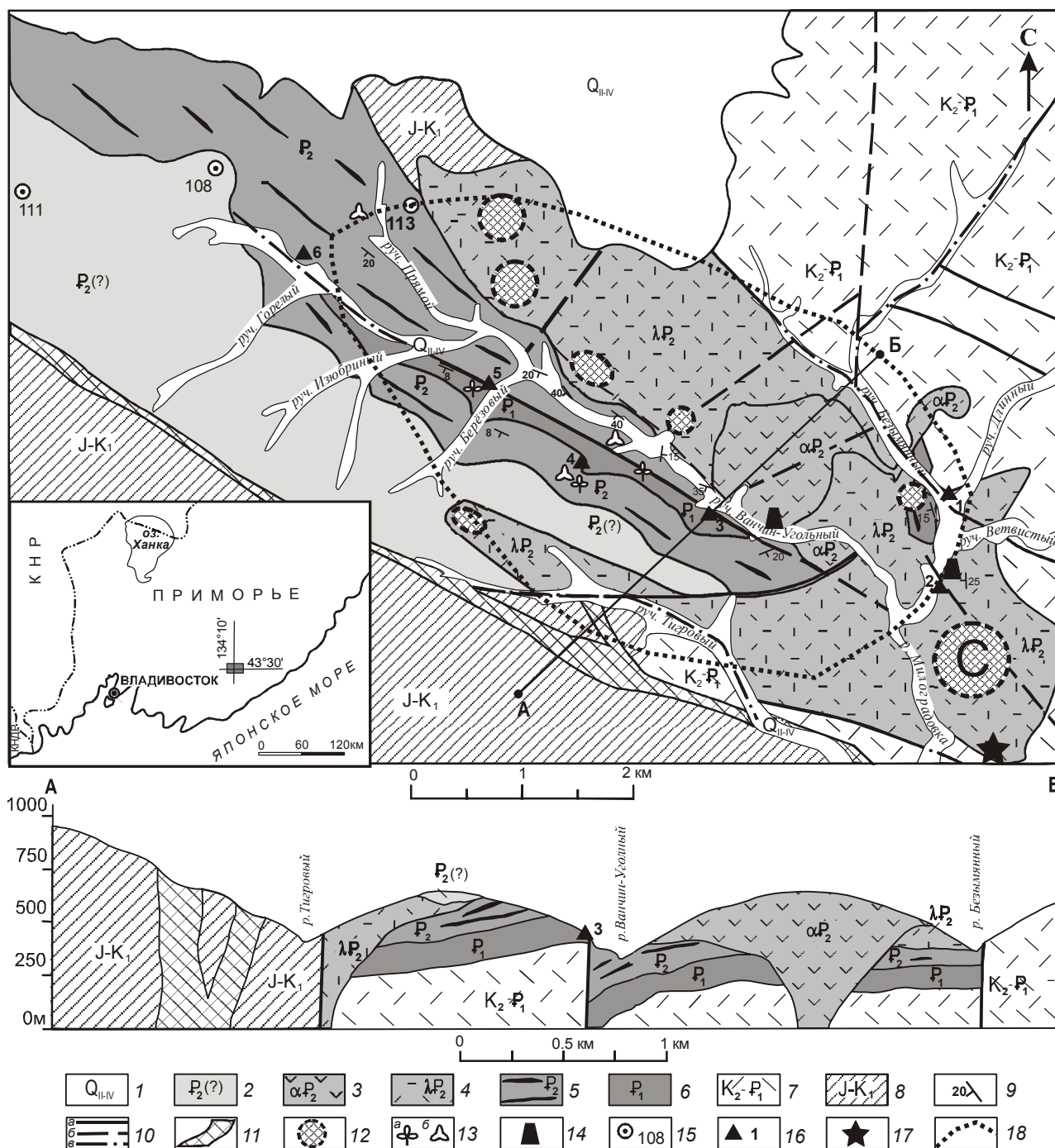


Рис. 1. Схематическая геологическая карта и разрез Ванчинской впадины (составлены с использованием материалов В.А. Исполина, Ю.П. Бидюка, Б.Ф. Кожина, Ю.А. Горобца, Н.А. Матюшонка, Ф.И. Ростовского).

1 – четвертичные отложения; 2–5 – эоцен: 2 – конгломераты и песчаники, 3 – трахиандезиты, туфоконгломераты, 4 – лавы и туфы риолитов, вулканические стекла, 5 – песчаники, аргиллиты, алевролиты, часто туфогенные, туфопесчаники, туфы риолитов, бурые угли; 6 – палеоцен, конгломераты, туфопесчаники, туффиты, туфы; 7 – поздний мел–палеоцен, вулканиты и экструзии кислого и среднего составов; 8 – допозднемеловые терригенные отложения; 9 – элементы залегания пород; 10 – разрывные нарушения: установленные (а), предполагаемые (б), под четвертичными отложениями (в); 11 – зона Милоградовского разлома; 12 – предполагаемые центры извержений кислых магм (экструзии, тела туффизитов, концентрические структуры по данным дешифрирования космоснимков): С – Союзненский вулканический центр; 13 – точки: сборов растительных остатков (а), отбора проб для палинологического анализа (б); 14 – точки отбора проб для радиоизотопного датирования (К-Аг метод); 15 – буровые скважины; 16 – проявления цеолитов (1 – Грибок, 2 – Русловое, 3 – Нижнее, 4 – Угольное, 5 – Берёзовое, 6 – Дорожное); 17 – месторождение Союзное; 18 – граница магматического очага, выделенного по геофизическим данным.

0.3 до 2.7 м) пластов и линз бурого угля (рис. 2). Крупные обломки и гальки в грубообломочных отложениях угленосной пачки представлены в основном гидротермально измененными риолитами. Мощность угленосной толщи составляет от 50 до 100 м.

Туфогенно-осадочные породы базальной и угленосной толщ обнажаются по обоим бортам руч. Ванчин-Угольный, они также перебулены разведочными скважинами (рис. 1, скв. 108 и 113).

На начальных этапах изучения Ванчинской впадины растительные остатки из отложений угловской свиты датировались олигоценом (Исполинов, 1963). Позднее С.И. Неволлина на основании изучения коллекций макрофитофоссилий (сборы Э.Г. Стромберг и В.А. Исполинова) сделала вывод о позднеэоцен-раннеолигоценовом возрасте флороносных отложений. Списки видового состава ископаемых растений приведены в [1]. Нами были проведены сборы растительных остатков из туффитов и туфопесчаников базальной толщи и из туфоалевролитов угленосной

толщи. Коллекция из туфопесчаников и туффитов была предварительно просмотрена С.И. Невוליной. По ее мнению, видовой состав флоры близок раннепалеоценовой (даний) тадушинской флоре, известной в Зеркальненской впадине. Детальное изучение коллекции позволило Б.И. Павлюткину определить в ее составе ряд типично палеоценовых растений (рис. 3).

Здесь установлено присутствие: *Osmunda sachalinensis* Krysht., *Woodwardia bureiensis* Fed., ?*Sequoia* sp. (женская шишка), *Taxites olrikii* Heer, *Trochodendroides kryshstofovichii* (Iljinskaja) Iljinskaja, *T. speciosa* (Ward) Berry, *T. evelinae* Iljinskaja, *Tiliaephyllum tsagajanicum* (Krysht. et Baik.) Krass., *Protophyllum* sp., *Fagus* sp., *Betula* sp., *Vitis protoamurensis* Kamaeva, *Dicotylophyllum* sp. В небольшом фитокомплексе из туфоалевролитов вышележающей угленосной составляющей разреза очевидные датские виды не обнаружены. Б.И. Павлюткиным здесь определены: *Osmunda sachalinensis* Krysht., *Metasequoia occidentalis* (Newb.) Chaney, *Glyptostrobus europaeus* (Brongn.) Heer, *Tetracentron* sp.(?), *Hamamelites* cf. *kinkilensis* Budants., “*Acer*” *arcticum* Heer, *Fraxinus chunchunensis* Wang, Li et Ablaev, *Platanus* sp., *Cercidiphyllum richardsonii* (Heer) Sew. et W. Edw. (рис. 3). Перечисленные виды известны из эоценовых и палеоценовых флор Приморья и прилегающих регионов.

Параллельно из туфоалевролитов и песчаников угленосной толщи отбирались пробы для палинологических исследований. По мнению Т.И. Петренко, полученный спорово-пыльцевой комплекс содержит набор микрофоссилий, несколько отличающийся от других эоценовых палинофлор Приморья. В нем явно преобладает пыльца голосеменных, преимущественно *Taxodiaceae*. В группе покрытосеменных отмечается (с оценкой единично) пыльца специфических видов буковых: *Quercus gracilis* Boitz., *Q. graciliformis* Boitz., *Q. conferta* Boitz., *Quercites sparsus* (Mart.) em. Samoil., более заметна пыльца *Castanea* (до 4.6%), *Castanopsis* (до 3.3%). Обращает на себя внимание почти полное отсутствие пыльцы *Fagus*. Термофильные компоненты палинофлоры представлены весьма скромно: *Trochodendron*, *Fothergilla*, *Hamamelis*, *Liquidambar*, *Altingia*, *Engelhardtia*. Единично встречается пыльца представителей формальных родов: *Tripoporollenites* sp., *Triatriopollenites plicoides* Zakl., *Plicatopollis plicatus* R. Pot., *Tricolporopollenites liblarensis* (Th. et Pfl.) subsp. *fallax* R. Pot., *Tricolporopollenites* sp., *Parviprojectus dolium* Samoil. В целом спектры невыразительные и отражают, по представлению Т.И. Петренко, определенный этап в

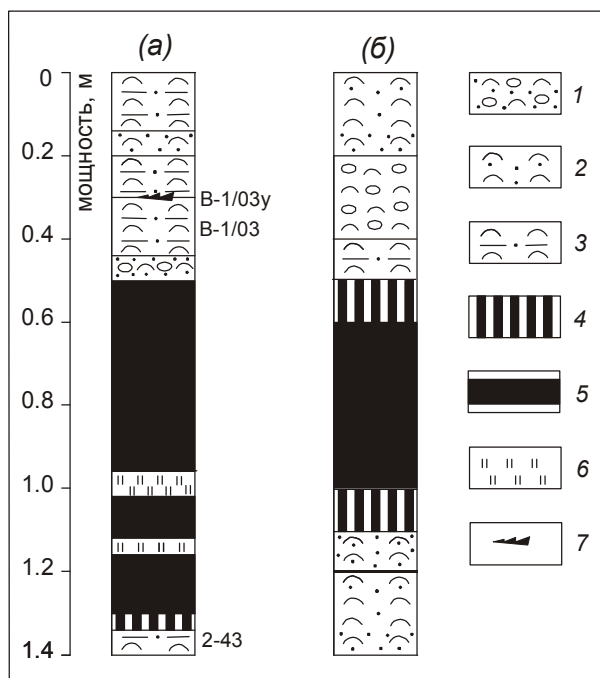


Рис. 2. Детализированные литологические колонки угленосной толщи (а) – рудопроявление Угольное; (б) – 1-ый правый снизу приток руч. Ванчин-Угольный. 1 – туфоконгломераты; 2 – туфопесчаники и туффиты; 3 – туфоалевролиты и аргиллиты; 4 – углистые туфоалевролиты и аргиллиты; 5 – угли; 6 – зоны послойного окварцевания углей; 7 – угольное включение. Цифры справа от колонок – номера проб (см. табл. 3, 5).

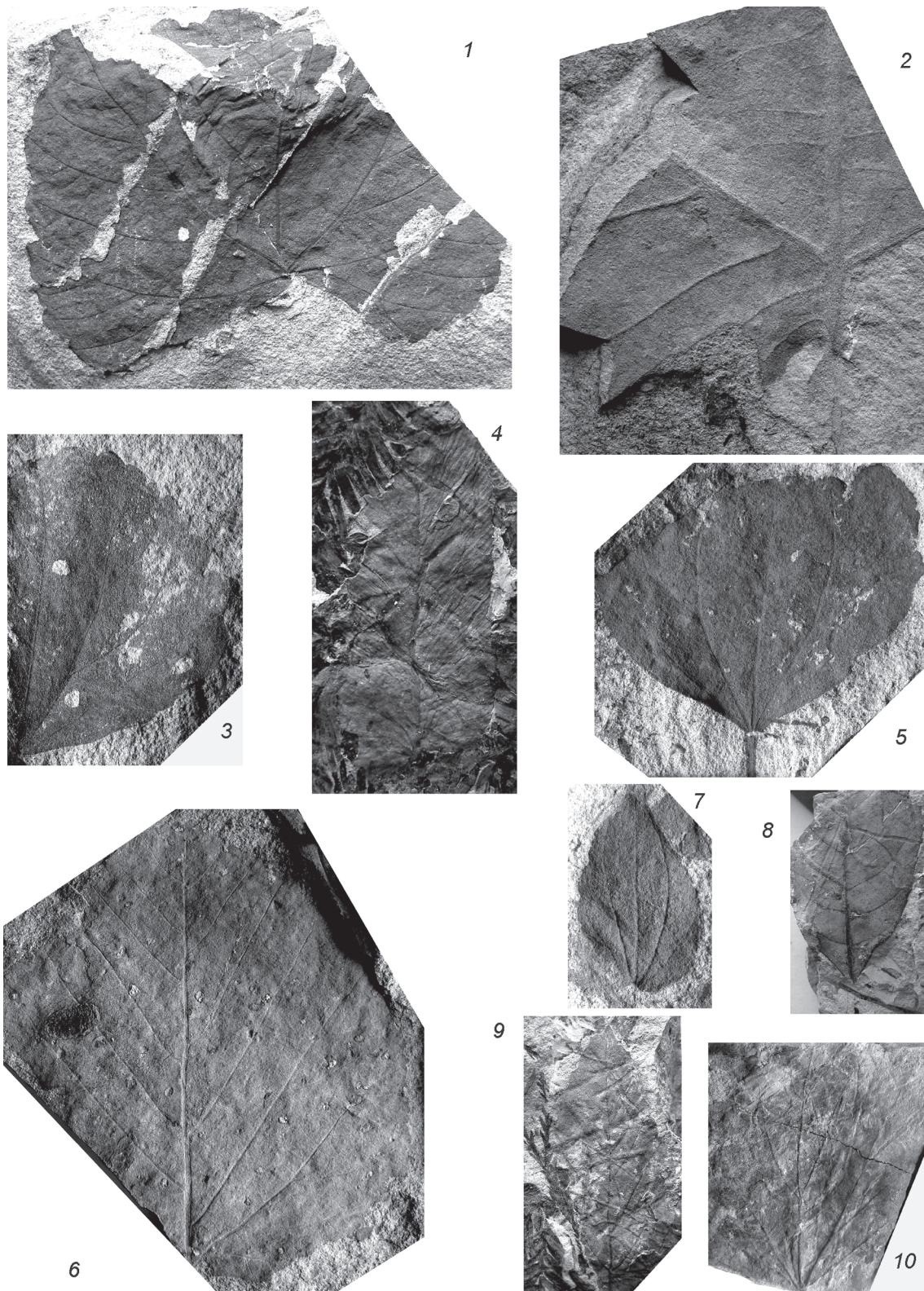


Рис 3. Ископаемые растения Ванчинской впадины: базальная толща – палеоцен (1–3, 5–7); угленосная толща – нижний эоцен (4, 8–10). Определения Б.И. Павлюткина, ДВГИ ДВО РАН.

1 – *Vitis protoamurensis* Kamaeva, 9190/15; 2 – (?) *Protophyllum* sp., 9190/1; 3 – *Trochodendroides speciosa* (Ward) Berry, 9190/16; 4 – *Osmunda sachalinensis* Kryshch., 9185/17; 5 – *T. kryshchovitchii* (Iljinskaja) Iljinskaja, 9190/7; 6 – *Tiliaephyllum tsagajanicum* (Kryshch. et Baik.) Krass., 9190/10; 7 – *T. evelinae* Iljinskaja, 9190/13; 8 – *Fraxinus chunchunensis* Wang, Li et Ablayev, 9185/9; 9 – *Hamamelites* cf. *kinkilensis* Budants, 9185/6; 10 – “*Acer*” *arcticum* Heer, 9185/15.

развитии эоценовой флоры, вероятно, “дооптимального” раннего эоцена.

К *надеждинской свите* относились [1] перекрывающие угленосную толщу туфопесчаники, аргиллиты и алевролиты с маломощными прослоями бурых углей и конгломератов, горизонтами туффигов, витрокластических и пепловых туфов риолитов. Разрез венчают темно-серые аргиллиты и алевролиты с незначительной примесью вулканокластического материала. Наиболее полный разрез этой свиты мощностью 65 м был пробурен скважиной 108 (рис. 1). Возраст выделенного стратона был принят как олигоценый [1].

Нами были проведен отбор палинологических проб из аргиллитов, относимых Ю.И. Бидюком к *надеждинской свите*. Установлено, что палиноспектры однотипны с вышеописанными из угленосной толщи (заключение Т.И. Петренко). Полученные данные свидетельствуют о том, что формирование пачки пород, наращивающей угленосные отложения, также происходило в раннем эоцене. Согласно залегание на угленосных отложениях, сходство палиноспектров и незначительная мощность не позволяют выделять эти породы в самостоятельный литостратон. Таким образом, нами эти отложения включены в состав угленосной толщи.

Туфы и лавы риолитов в междуречье ручьев Ванчин-Угольный и Безымянный выделялись ранее в олигоценовую *брусиловскую свиту*. Вулканические породы мощностью 100–150 м перекрывают здесь угленосные отложения угловской свиты [1] и слагают покровные тела туфов и лав риолитов и вулканических стекол, а также рвущие тела трахириолитов, эксплозивных брекчий и интрузивных пирокластитов (туффизитов) кислого состава. Последние развиты в бассейне руч. Безымянного. Туффизиты имеют рвущие крутые контакты и состоят из крупных обломков и глыб туфов риолитов, туфопесчаников, углистых аргиллитов и угля, погруженных в разложенное вулканическое стекло.

Ниже устья Безымянного в крутых скалистых бортах Милоградовки наблюдаются многочисленных выходы эксплозивных брекчий риолитового состава, имеющих крутые рвущие контакты (65–70°) с вмещающими их витрокристаллокластическими туфами риолитов. Эксплозивные тела сложены угловатыми обломками риолитов, погруженными в аргиллизированную основную массу. Брекчиевые тела интенсивно раздроблены и пронизаны густой сетью прожилков халцедоновидного кварца. В приустьевой части ручья Ветвистого наблюдаются отдельные тела покровных вулканических стекол характерного черного цвета. Нами изучен протяженный покров риолитов, обнажающийся в нижнем течении и в приустьевой части Ванчина-Угольного и в бассейне р. Милоградовки (выше и ниже устья руч. Ванчин-Угольный). Подводящий канал риолитового покрова (некк) вскрыт эрозией на левом борту Милоградовки, в 800 м ниже устья руч. Безымянного. Видимый лежащий контакт некка с туфами риолитов пологий. Угол падения не превышает 8–10°. Покровное тело риолитов залегает горизонтально. Характер течения потока подчеркивается флюидальной текстурой лавы. Мощность приконтактной зоны некка с вмещающими туфами риолитов составляет 1–1.5 м. Она сложена вулканическим стеклом с порфировыми выделениями кварца и санидина. Риолиты также содержат значительное количество (около 30 %) вкрапленников кварца и санидина, погруженных в основную фельзитовую массу. Калий-аргоновая датировка риолитов из некка (44.7 ± 1.0 млн лет) свидетельствуют об их среднеэоценовом возрасте (табл. 1). Аналогичные цифры, составляющие (с поправкой на константы, принятые после 1985 г.) 44.85 ± 0.7 млн лет и 44.95 ± 3 млн лет, были получены ранее для этого же тела при датировке его по санидину И.Н. Томсоном и О.П. Поляковой и по валу М.Г. Руб, соответственно (ИГЕМ РАН, неопубликованные данные).

К *сандуганской свите* Ю.П. Бидюком относились покровные и рвущие тела андезибазальтов, ан-

Таблица 1. Результаты определений К-Аг возраста риолитов Ванчинской впадины.

№ п.п.	Образец	Порода	Координаты		Калий, мас.% $\pm 2\sigma$	$^{40}\text{Ar}_{\text{рад.}}$ (нг/г) $\pm 2\sigma$	Возраст, млн лет $\pm 2\sigma$
			широта	долгота			
1	П-504/5	Риолит, вал	43°30'50"	134°15'20"	4.70 $\pm$ 0,05	14.72 $\pm$ 0,03	44.7 $\pm$ 1.0

Примечание. Определения выполнены в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН. Определение содержания радиогенного аргона проводилось на масс-спектрометре МИ-1201 ИГ методом изотопного разбавления с применением в качестве трасера ^{38}Ar ; определение калия – методом пламенной спектрофотометрии. При расчете возраста использованы константы: $\lambda_K = 0.581 \times 10^{-10} \text{год}^{-1}$, $\lambda_{\text{Ar}} = 4.962 \times 10^{-10} \text{год}^{-1}$, $^{40}\text{K} = 0.01167$ (ат. %). Аналитик В.А. Лебедев.

Таблица 2. Результаты определений К-Аг возраста трахиандезитов Ванчинской впадины.

№ п.п.	Образец	Порода	Координаты		Калий, мас. %	$^{40}\text{Ar}_p \cdot 10^{-5}$, нмм ³ /г	Воздушный Аг, %	Возраст, млн лет $\pm 2\sigma$
			широта	долгота				
1	П-514/5	Трахиандезит, вал	43°31'55"	134°14'55"	3.337	475.58	85.6	43.7 $\pm$ 1.4

Примечание. Определения выполнены в лаборатории изотопии и геохронологии ИЗК СО РАН по методике [16]. Для расчета возраста используются константы $\lambda_\alpha = 0,581 \times 10^{-10} \text{ год}^{-1}$; $\lambda_\beta = 4,962 \times 10^{-10} \text{ год}^{-1}$; $^{40}\text{K} = 0,01167 \text{ ат. \% K}$; Концентрации калия – среднее трех измерений методом фотометрии пламени; * – среднее измерений радиогенного аргона по двум аликвотам.

дезитов и дацитов мощностью 80–100 м. Эти породы обнажаются на левом и правом бортах руч. Ванчин-Угольный, а также на правом борту руч. Безымянного. В 1600 м выше устья руч. Ванчин-Угольного в основании разреза андезитового покрова залегают туфоконгломераты, сложенные округлыми обломками (до 5–15 см в поперечнике) окисленных, хлоритизированных и осветленных андезитов и андезибазальтов, редко риолитов, погруженных в основную массу палагонитизированного вулканического стекла. На туфоконгломератах залегают потоки стекловатых лав андезитов. В бассейне руч. Безымянного развиты экструзии и дайки того же состава. Возраст пород сандуганской свиты определялся как миоценовый на основании того, что лавы андезитов перекрывают риолиты брусилловской свиты и перекрываются плиоценовыми отложениями [1]. К-Аг датировка стекловатых трахиандезитов в бассейне руч. Ванчин-Угольного (табл. 2) свидетельствует о среднеэоценовом возрасте эффузивных пород этой толщи [14].

В состав *суйфунской свиты* Ю.П. Бидюком включались породы, сложенные валунами, галькой и полуокатанными обломками мезозойских и палеозойских пород, слабо сцементированными песчано-глинистым материалом, с редкими прослоями бурых разнозернистых песчаников, гравелитов, конгломератов и глин. Плохая сортировка материала указывает на их преимущественно пролювиальную природу. Вблизи юго-западного борта впадины эти отложения частично вскрыты скважиной 111 на глубину 170 м. (рис. 1). По данным Э.Г. Стромберг (1955 г.) и В.А. Исполинова (1963 г.), в соседней Березовской впадине мощность подобных отложений по результатам бурения оценивается в 600 м. Возраст свиты принимался предположительно плиоценовым [1]. Список растительных остатков из суйфунской свиты, приводимый в [1], по мнению Б.И. Павлюткина (устное сообщение), может отвечать эоцен-миоценовому интервалу и не позволяет точно определить возраст отложений. Пролувиально-аллювиальные отложе-

ния аккумулировались в приразломной части впадины. Подобные мощные комплексы фангломератов, сформированные вблизи крутых приразломных бортов, характерны для многих кайнозойских впадин Приморья – Ивановской, Шмаковской, Артемо-Тавричанской, Лузановской и др., где доказан их эоценовый возраст. Нами фангломераты Ванчинской впадины, по аналогии с разрезами аналогичных впадин, также условно отнесены к эоцену.

Таким образом, полученные результаты палеофлористических и изотопно-геохимических исследований позволили пересмотреть возраст вулканогенно-осадочных и эффузивных пород Ванчинской впадины. На рис. 4 приведена предложенная авторами последовательность формирования кайнозойских образований, выполняющих впадину.

ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД

Вулканогенно-осадочные породы базальной и угленосной толщ представлены конгломератами, туфопесчаниками и туфоалевролитами, туффитами, аргиллитами, бурыми углями и витрокристаллокластическими туфами дацит-риолитового состава.

Туфопесчаники базальной толщи, псаммитовой, псефитовой и грубозернистой структуры, состоят из угловатых зерен кварца, полевого шпата, редких обломков пород фундамента. Цементирующая масса сложена обломками пелитовой размерности и содержит значительное количество частичек разложившего вулканического стекла. Породы крайне неравномерно литифицированы и местами сильно ожелезнены. Аналогичным петрографическим составом характеризуются туфоалевролиты, имеющие пепельно-серую окраску и алевритовую размерность обломков. Вторичные изменения выражены в развитии по вулканическому стеклу цеолитов, слюдистых минералов и опала. Отдельные цеолитизированные слои туфопесчаников и туфоалевролитов содержат растительный шлам пепельно-коричневого цвета, а некоторые прослои – углефицированные фрагменты растений.

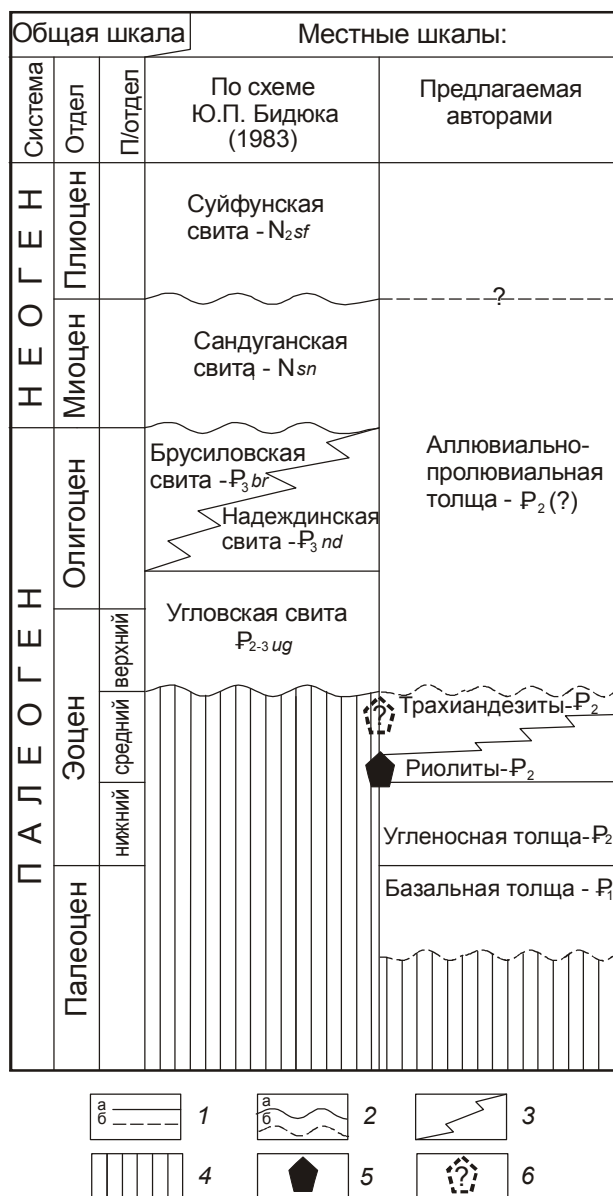


Рис. 4. Стратиграфическая последовательность отложений Ванчинской впадины.

1 – границы стратиграфические: достоверные (а), предполагаемые (б); 2 – несогласия: достоверные (а), предполагаемые (б); 3 – фациальные границы; 4 – стратиграфические перерывы; 5 – время образования месторождения Союзное; 6 – предполагаемое время образования целолитовой минерализации.

Туффы пепельно-серой и зеленовато-серой окраски состоят из тонких пепловых частиц кислого вулканического стекла, отдельных более крупных (до 5 мм) обломков пемзы и редких мелких зерен кварца, полевого шпата, а также углистых частичек. Цементирующая масса сложена глинистыми минерала-

ми. Вторичные изменения выражены в цеолитизации и опализации пород.

Витрокристаллокластические туфы риолитов и дацитов имеют светлую зеленовато-серую окраску и отчетливо выраженную слоистость. Породы состоят из уплощенных, реже угловатых обломков разложившегося вулканического стекла салатного цвета различной размерности. Цементирующая основная масса сложена частицами стекла псаммитовой размерности и обломками кристаллов кварца, серицитизированных зерен калиевого полевого шпата и опалитизированных чешуек биотита. В цементе постоянно присутствуют глинистые минералы, образовавшиеся при разложении вулканического стекла.

Угли сложены в основном мацералами группы витринита (β - и Δ -витринит, β -паренхинит, феллинит, десмито-витринит) и содержат довольно много липоидных микрокомпонентов (кутинит, микроспоринит). Фюзенизированные микрокомпоненты имеют подчиненное значение и представлены мелкими линзочками β -фюзинита и микринита. Отражательная способность витринита варьирует в узких пределах ($R^0 = 0.36-0.37$) и соответствует O_2 стадии метаморфизма угля.

В угольных пластах часто фиксируется примесь туфогенного материала, слагающего тонкие (первые мм–2 см) каолиновые тонштейны. В устье руч. Безымянного в угольном пласте встречены макроскопически различимые лапилли, нацело замещенные каолинит-сметитовым агрегатом.

В нескольких обнажениях вдоль долины руч. Ванчин-Угольный и его притоков в угольных пластах отмечены зоны окварцевания. Они относятся к двум различным морфологическим типам и формировались, очевидно, на разных стадиях трансформации органического вещества.

Первый тип представлен массивными и флюидальными, со следами течения кремнистой и органической масс, послойными зонами окварцевания угольных пластов (рис. 2). Их образование происходило, по-видимому, на стадиях торфонакопления и раннего диагенеза органического вещества при разгрузке высококремнистых растворов в проницаемую органическую массу. Второй тип выражен секущими угольные пласты кварцевыми микроштокверками. Подобное эпигенетическое окварцевание угольных пластов, очевидно, происходило уже после завершения процесса углефикации органического вещества [19].

Туфоаргиллиты угленосной пачки – коричнево-серые слоистые породы алевропелитовой и пелитовой структуры. Алевроитовые зерна представлены

кварцем, полевыми шпатами и мусковитом. Часть зерен замещена хлоритом и серицитом. Цементирующая зерна пелитовая составляющая также интенсивно серицитизирована и хлоритизирована. В составе цемента отмечается небольшое количество цеолитизированной кислой пирокластики.

Риолиты, слагающие уступ цокольной террасы бортов р. Милоградовки выше и ниже устья руч. Ванчин-Угольный и его борта в приустьевой части, имеют светло-серую окраску. Текстура риолитов лавового покрова флюидально-полосчатая, структура порфировая, с вкрапленниками кварца, санидина, редко кислого плагиоклаза и биотита. Аксессуары представлены рудными минералами, цирконом, апатитом. Основная масса стекловатая, микрофельзитовая, участками до гранофировой. Краевая фация нека сложена вулканическим стеклом с большим количеством (15–20 % объема породы) крупных вкрапленников (5–7 мм в поперечнике) кварца и санидина. В междуречье руч. Ванчин-Угольный и Безымянный риолиты характеризуются наличием мелких (1–2 мм) и редких порфировых вкрапленников кварца, калиевого полевого шпата и биотита, погруженных в фельзитовую основную массу. Значительная часть пород на этом участке преобразована процессами наложенного кремнекалиевого метасоматоза, выразившегося в окварцевании и серицитизации вкрапленников и основной массы.

Вулканические стекла, развитые в бассейне руч. Ванчин-Угольный, Безымянный и Ветвистый, черного или темно-серого цвета, содержат незначительное количество вкрапленников кварца, плагиоклаза, редко биотита и рудных минералов. Стекло основной массы бесцветное с выраженной флюидально-полосчатой текстурой. Вторичные изменения в зонах гидротермальной проработки пород выражены в цеолитизации и развитии гидрослюдистых минералов.

Тела туффизитов состоят из различных по размеру (от первых сантиметров до первых метров в поперечнике) обломков углистых аргиллитов, алевролитов, туфогенных песчаников и аргиллитов, а также вулканических стекол. Они разбиты трещинами, импрегнированными материалом основной массы. Иногда встречаются углефицированные фрагменты древесины. Цементирующая масса светло-серого цвета сложена разложившимся кислым вулканическим стеклом и насыщена мелкими частицами угля.

Туфоконгломераты андезитовой толщи, сформированные в начальную эксплозивную стадию проявления андезитового вулканизма, сложены в основном валунами массивных и миндалекаменных андезитов, в различной степени окисленных, хлоритизи-

рованных и осветленных. Вторичные изменения обуславливают пеструю окраску этих пород. Обломки риолитов и их туфов довольно редки. Размерность обломочного материала вулканических пород варьирует от 5 до 20 см, количество – от 60 % до 80–90 % от объема породы. Цементирующая масса представлена палагонитизированным и хлоритизированным пепловым веществом и имеет желтовато-зеленую окраску. Характерна грубая слоистость пород с чередованием “слоев” с различным содержанием и размерностью округлых обломков. Аналогичные образования, связанные с эоценовым андезитовым эксплозивным вулканизмом, были ранее изучены нами в Краскинской впадине [13].

Трахиандезиты, слагающие экструзии, дайки и лавовые потоки имеют темно-серую окраску и стекловатую афировую или микрозернистую основную массу. Структура пород порфировая. Редкие вкрапленники сложены оливином, плагиоклазом и клинопироксеном; нередко присутствуют обломки ксеногенного кварца. В стекловатых породах основная масса под микроскопом представлена чистым прозрачным стеклом светло-коричневого цвета. В крайних фациях потоков структура гиалопилитовая, в центральных частях – интерсертальная. Вторичные изменения выражены в частичной хлоритизации оливина и клинопироксена.

ЦЕОЛИТОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ВАНЧИНСКОЙ ВПАДИНЫ

Цеолититы (породы с содержанием цеолитов более 50 %) довольно обычны в вулканогенных отложениях Ванчинской впадины. Цеолит-сметитовые агрегаты замещают кислое вулканическое стекло, слагающее как пепловые частицы в туффитах, туфоалевролитах, туфопесчаниках и туфоконгломератах, так и крупные обломки в витрокластических туфах. Большинство выходов этих пород на дневную поверхность приурочены к бровке отчетливо выраженного в рельефе линейного уступа, трассирующего сброс в центральной части депрессии (рис. 1). Цеолититы выделяются среди туфопесчаников, туффитов и витрокристаллокластических туфов базального палеоэоценового горизонта (цепочка проявлений вдоль руч. Ванчин-Угольного: Нижнее, Березовое, Дорожное), туфоалевролитов нижнеэоценового угленосного горизонта (проявление Угольное), а также витрокристаллокластических туфов эоценового вулканического комплекса (проявления Русловое и Грибок в русле р. Милоградовки) (рис. 1). Видимая мощность цеолитизированных пород варьирует от 1.5 м (проявление Угольное) до 20 м (проявление Березовое).

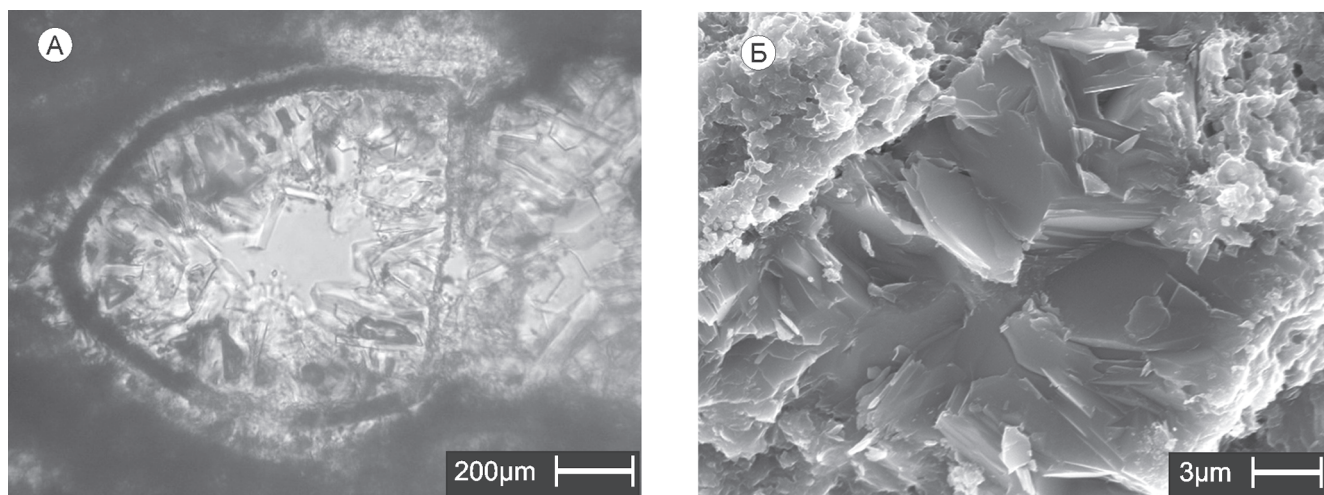


Рис. 5. Цеолиты Ванчинской впадины.

А – кристаллы клиноптилолита, выполняющие поры (витрокристаллокластический туф, обр. П-503, прозрачный шлиф, николи параллельны); Б – замещение частички вулканического стекла цеолит-сметитовым агрегатом (туфопесчаник, обр. Р-7-1, снимок во вторичных электронах со сканирующего электронного микроскопа ZEISS EVO 50 XVP, ДВГИ ДВО РАН).

Цеолитовая минерализация носит стратиформный характер. Обнажения цеолититов на правом борту руч. Ванчина-Угольного, включая детально изученные нами проявления Нижнее и Березовое, однотипны. Они сложены туфопесчаниками и туффитами подугольной пачки со значительной примесью углефицированного растительного детрита. Проявление Дорожное, также приуроченное к северо-западному разлому, представлено цеолитизированными витрокристаллокластическими туфами риодацитового состава. Мощность цеолититовой пачки достигает здесь 15 м. Проявление Угольное представлено маломощным выходом цеолитизированного туфоалевролита под пластом бурого угля в истоках правого притока руч. Ванчина-Угольного. Проявление Русловое расположено в русле р. Милоградовки выше впадения в нее руч. Ванчина-Угольного. Здесь цеолитизация развита по кислым витрокластическим туфам, слагающим пласт мощностью 5 м. Проявление Грибок находится в районе развилки верхних составляющих р. Милоградовки (ручьи Ветвистый, Длинный, Безымянный). Оно также приурочено к витрокластическим туфам, залегающим в основании покрова, сложенного перлитами. Видимая мощность цеолититов составляет 5 м.

Минеральный состав цеолититов, по данным рентгеноструктурного анализа, примерно одинаков для всех проявлений и представлен на 50–70 % цеолитами группы гейландита-клиноптилолита, а также кварцем, полевыми шпатами, кристобалитом и гли-

нистыми минералами группы смектита (рис. 5). Прогнозные ресурсы цеолититов с содержанием клиноптилолита 70 % в Ванчинской впадине оценены в 30 млн т [8].

В целом цеолититы Ванчинского грабена относятся к субфации высококремнистых К-Na цеолитов цеолит-сметитовой фации аргиллизитов, известной в районах развития дацит-андезитового вулканизма [5]. Цеолитовая минерализация Ванчинской впадины развивается в туфогенно-осадочных породах, содержащих значительное количество витрокластической составляющей, и контролируется продольными северо-западными разломами, вдоль которых циркулировали гидротермальные растворы, продуцированные, по-видимому, залегающим на глубине магматическим очагом. Судя по минеральному составу метасоматитов, эти растворы имели температуру 130–150° С и ниже и слабощелочную (pH – 7–10) реакцию.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭФФУЗИВНЫХ И ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

Большинство пород, выполняющих Ванчинскую впадину, сильно изменены. Максимальной гидротермальной проработке, вызвавшей существенные трансформации в их химическом составе, подверглись вулканогенно-осадочные породы, лавы и туфы риолитов, минимальной – трахиандезиты. Информация о привязке изученных проб и методах их иссле-

Таблица 3. Список изученных образцов, используемых в работе.

№ образца	Порода	Местоположение	Методы анализа	Источник информации
П-504/5	Риолит порфировый	Руч. Ветвистый	ХИМ, ИСП МС	Эта работа
631/74	Экструзия кварц-полевошпатовых порфиров	М. Союзное	ХИМ	[18]
113/73	Риолит	М. Союзное	ХИМ	[18]
1928	Риолит	Руч. Ветвистый	ХИМ	[1]
П-504/2	Перлит афировый	Руч. Ветвистый	ХИМ, ИСП-МС	Эта работа
П-504/3	Перлит	Руч. Безымянный	ХИМ, ИСП МС	То же
П-504/6	Перлит	Руч. Ванчин-Угольный	ХИМ, ИСП МС	- // -
84a	Перлит	Руч. Ванчин-Угольный	ХИМ	[1]
П-504/8	Трахиандезит	Руч. Ванчин-Угольный	ХИМ, ИСП МС	Эта работа
049-18	Трахиандезит	Руч. Ванчин-Угольный	ХИМ, ИСП МС	То же
П-514/5	Трахиандезит стекловатый	Руч. Безымянный	ХИМ, ИСП МС	- // -
В-1/88	Экструзия трахиандезита	Руч. Ветвистый	ХИМ, ИНАА	- // -
В-600/87	Дайка трахиандезита	Руч. Безымянный	ХИМ, ИНАА	- // -
П-503	Витрокристаллокластический туф риолита цеолитизированный	Руч. Ванчин-Угольный, проявление Дорожное	ХИМ, ИСП МС	- // -
2-3г	Витрокристаллокластический туф риолита цеолитизированный	Р. Милоградовка, проявление Речное	ХИМ, ИСП МС	- // -
3-5г	Туффит цеолитизированный	Руч. Ванчин-Угольный, проявление Нижнее	ХИМ, ИСП МС	- // -
Р-7-1	Туфопесчаник цеолитизированный	Руч. Ванчин-Угольный, проявление Берёзовое	ХИМ, ИСП МС	- // -
Р-7-2	Туфопесчаник цеолитизированный	Там же	ХИМ, ИСП МС	- // -
Р-7-3	Туфопесчаник цеолитизированный	Там же	ХИМ, ИСП МС	- // -
2-43	Туфоалевролит цеолитизированный	Руч. Ванчин-Угольный, проявление Угольное	ХИМ, ИСП МС	- // -
В-1/03	Туфоалевролит цеолитизированный	Там же	РФА, ИНАА	- // -
В-1/03у	Угольное включение	Там же	ИСП МС	- // -

Примечание. Методы анализов: ХИМ – химический; РФА – рентгено-флюоресцентный; ИНАА – инструментальный нейтронно-активационный; ИСП МС – масс-спектрометрический в индукционно связанной плазме. Анализы проб 113/73, 631/74, В-600/87, В-1/88, В-1/03, В-1/03у проведены в лабораториях ИГЕМ РАН, остальных: хим. анализ – в ДВГИ ДВО РАН методом “мокрой химии”, ИСП МС – в ИГХ СО РАН.

дования приведена в таблице 3. В таблице 4 приведен химический и микроэлементный состав эффузивных пород с минимальными вторичными преобразованиями, а в таблице 5 – химический и микроэлементный состав цеолититов.

На классификационной диаграмме SiO_2 – $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ точки состава кислых пород располагаются в полях, отвечающих составу дацитов, риодацитов и риолитов (рис. 6 А). По соотношению глинозема и щелочей породы относятся к плюмазитовому типу. Риолиты и вулканические стекла принадлежат к высококалевой серии (рис. 6 Б). В риолитах калий

значительно преобладает над натрием. В цеолитизированных породах суммарное содержание щелочей относительно неизменных риолитов и вулканических стекол понижено. В перлитах отношение $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ близко к 1. Это соотношение сохраняется и в других цеолитизированных породах: витрокластических туфах (проявление Дорожное), туффитах (проявления Березовое, Нижнее). По химическому составу цеолитизированные витрокластические туфы, туффиты и туфопесчаники из разных частей разреза вулканогенно-осадочных отложений впадины близки.

Таблица 4. Химический состав неизмененных и слабоизмененных вулканических пород Ванчинской впадины.

№ обр.	Породы												
	Риолиты				Перлиты				Трахиандезиты				
	П-504/5	631/74	113/73	1928	П-504/2	П-504/3	П-504/6	84a	П-504/8	049-18	П-514/5	В-600/87	В-1/88
SiO ₂	79.60	74.52	74.64	75.86	72.65	71.77	70.51	69.40	62.96	62.56	62.96	62.32	64.00
TiO ₂	0.13	0.08	0.20	0.12	0.14	0.12	0.16	0.09	0.85	0.85	0.88	0.91	0.88
Al ₂ O ₃	8.00	12.13	12.87	12.61	12.04	11.93	11.94	13.63	14.04	15.75	15.38	15.50	14.73
Fe ₂ O ₃	1.87	1.94	1.47	1.81	0.89	1.16	1.99	2.27	4.65	3.89	2.40	3.40	3.49
FeO	1.17	0.34	1.24	1.07	1.60	0.85	0.59	0.84	3.96	2.57	4.31	2.45	1.72
MnO	0.01	0.05	0.04	0.04	0.06	0.05	0.08	0.05	0.14	0.28	0.20	0.15	0.12
MgO	0.24	0.06	0.17	0.02	0.33	0.05	0.18	0.28	1.05	0.81	1.29	0.91	0.25
CaO	0.33	0.45	0.28	0.38	0.33	1.05	1.08	1.44	2.45	3.09	2.45	3.57	3.68
Na ₂ O	2.75	3.56	2.24	3.88	3.80	4.25	3.98	3.78	3.88	3.39	4.14	3.26	3.52
K ₂ O	5.27	4.38	5.08	4.45	3.62	3.01	3.60	3.71	3.65	3.55	3.75	3.94	3.32
P ₂ O ₅	0.05	<	0.06	0.02	0.02	0.03	0.07	0.05	0.33	0.36	0.41	0.67	0.97
п.п.п.	0.78	1.10	0.70	0.21	4.67	5.55	5.32	4.44	1.69	2.41	1.36	1.95	2.81
Сумма	99.95	98.61	98.99	100.47	100.15	100.16	99.50	99.98	99.65	99.51	99.53	99.03	99.49
Sc	2.0	-	-	-	3.0	3.0	7.0	-	-	14.9	18.0	20.0	20.9
V	5.0	-	-	-	4.0	4.0	7.0	-	-	69.9	120.0	-	-
Ga	18.0	-	-	-	18.0	19.0	17.0	-	-	19.5	22.0	-	-
Ge	-	-	-	-	1.8	1.4	1.3	-	-	1.4	1.7	-	-
Rb	217.0	-	-	-	455.0	478.0	174.0	-	-	92.8	112.0	-	-
Sr	56.0	-	-	-	103.0	75.0	97.0	-	-	249.4	366.0	-	-
Y	39.0	-	-	-	51.0	39.0	30.0	-	-	30.7	42.0	-	-
Zr	98.0	-	-	-	232.0	216.0	199.0	-	-	273.7	314.0	-	-
Nb	26.0	-	-	-	21.0	45.0	14.0	-	-	19.4	24.0	-	-
Sn	5.0	-	-	-	6.0	3.0	4.0	-	-	1.9	4.0	-	-
Cs	4.5	-	-	-	74.9	209.7	10.7	-	-	7.0	17.7	21.0	8.2
Ba	153.0	-	-	-	453.0	436.0	494.0	-	-	631.3	805.0	-	-
La	41.3	-	-	-	56.6	44.8	32.6	-	-	41.6	45.7	46.5	46.5
Ce	100.6	-	-	-	116.3	98.5	71.8	-	-	72.7	97.0	94.0	98.0
Pr	10.2	-	-	-	13.1	11.6	8.2	-	-	9.4	11.1	-	-
Nd	34.8	-	-	-	50.8	37.5	29.3	-	-	37.1	43.5	50.7	52.2
Sm	7.4	-	-	-	11.0	8.4	6.0	-	-	7.3	8.9	10.5	11.3
Eu	0.3	-	-	-	1.1	0.8	0.7	-	-	1.9	2.2	2.6	2.6
Gd	8.1	-	-	-	11.0	7.7	5.6	-	-	6.8	9.7	8.3	8.3
Tb	1.1	-	-	-	1.5	1.2	1.0	-	-	0.8	1.3	1.2	1.2
Dy	6.3	-	-	-	8.3	6.7	5.2	-	-	5.4	6.7	-	-
Ho	1.3	-	-	-	1.6	1.4	1.1	-	-	1.1	1.3	-	-
Er	3.8	-	-	-	4.9	3.6	3.1	-	-	3.0	3.8	-	-
Yb	4.0	-	-	-	4.8	3.6	3.1	-	-	2.9	3.3	3.5	3.6
Lu	0.6	-	-	-	0.7	0.5	0.4	-	-	0.4	0.5	0.5	0.5
Hf	4.1	-	-	-	6.6	7.5	6.4	-	-	7.7	7.3	7.9	8.6
Ta	3.0	-	-	-	2.0	4.0	1.0	-	-	1.2	2.0	1.2	1.3
Pb	49.0	-	-	-	32.0	24.0	20.0	-	-	14.4	31.0	-	-
Th	17.9	-	-	-	18.5	20.7	16.0	-	-	12.3	11.7	9.6	9.8
U	4.2	-	-	-	4.5	4.1	3.8	-	-	2.4	2.6	2.0	2.8

Примечание. Характеристика проб см. табл. 3. «-» – содержания не определялись, «<» – содержания ниже предела обнаружения.

Таблица 5. Химический состав цеолитизированных вулканических и вулканогенно-осадочных пород и захороненного в них углефицированного органического вещества (ОВ).

№ обр.	Породы								
	Туфы		ТUFFит	Туфопесчаники			Туфоалевролиты		ОВ
	П-503	2-3Г	3-5Г	Р-7-1	Р-7-2	Р-7-3	2-43	В-1/03	В-1/03у
SiO ₂	75.69	69.31	71.87	66.93	68.04	68.03	70.58	67.30	-
TiO ₂	0.18	0.2	0.2	0.24	0.22	0.2	0.2	0.24	-
Al ₂ O ₃	9.71	14.5	12.44	12.63	12.36	11.95	16.55	14.50	-
Fe ₂ O ₃	1.21	1.86	2.37	2.60	2.57	2.31	1.02	3.85	-
FeO	1.08	0.13	0.29	-	-	-	0.35	-	-
MnO	0.01	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03	-
MgO	0.22	0.99	0.16	0.18	0.17	0.16	0.13	0.54	-
CaO	0.24	1.78	1.79	0.68	0.69	0.7	0.92	1.71	-
Na ₂ O	2.68	1.58	1.92	2.85	2.52	2.85	1.81	0.41	-
K ₂ O	3.71	6.79	2.87	3.42	3.25	3.23	3.48	0.45	-
P ₂ O ₅	0.05	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02	-
п.п.п.	5.06	2.67	5.6	10.74	10.37	10.74	4.73	10.20	-
Сумма	99.84	99.89	99.57	100.32	100.25	100.21	99.83	99.25	-
Sc	7.0	8.0	8.0	10.0	7.0	7.0	1.2	7.4	0.8
V	7.0	-	10.0	12.0	9.0	8.0	6.0	4.0	4.0
Ga	20.0	20.0	24.0	37.0	28.0	26.0	21.3	45.0	22.8
Ge	0.9	1.7	1.0	-	-	-	0.7	2.0	188.1
Rb	182.0	234.0	168.0	210.0	154.0	148.0	106.9	35.0	2.0
Sr	197.0	92.0	207.0	94.0	63.0	62.0	7.8	107.0	102.6
Y	68.0	49.0	72.0	69.0	41.0	43.0	21.3	63.0	171.0
Zr	494.0	203.0	507.0	595.0	470.0	445.0	250.2	849.0	233.7
Nb	28.0	22.0	37.0	39.0	32.0	28.0	34.4	36.0	262.2
Sn	5.0	5.0	4.0	5.5	4.6	3.9	4.9	7.0	<
Cs	9.8	13.5	25.4	17.2	13.2	13.2	10.8	5.9	0.3
Ba	424.0	483.0	373.0	131.0	91.0	91.0	48.4	212.0	5.1
La	45.1	41.6	63.4	61.9	37.6	35.6	10.7	38.7	14.9
Ce	91.6	85.0	138.4	114.9	74.0	68.9	4.9	81.2	31.8
Pr	10.0	9.1	15.6	12.0	7.1	7.2	3.0	9.0	4.1
Nd	36.1	33.1	57.9	47.0	28.9	28.3	10.2	31.6	23.6
Sm	7.4	7.2	11.7	8.9	6.0	5.8	2.3	7.3	10.0
Eu	0.65	0.80	0.94	0.86	0.53	0.63	0.12	0.46	0.52
Gd	8.5	8.1	12.9	9.3	6.0	6.1	2.4	9.0	21.2
Tb	1.3	1.1	1.9	1.5	1.0	1.0	0.4	1.4	3.4
Dy	7.8	6.4	10.5	9.1	5.6	6.1	3.3	6.5	20.3
Ho	1.9	1.4	2.3	1.9	1.2	1.2	0.7	1.2	4.7
Er	6.4	4.5	6.8	5.5	3.7	3.9	2.1	3.5	15.1
Yb	7.5	4.8	7.1	6.1	4.6	4.6	2.8	4.0	17.8
Lu	1.2	0.8	1.1	1.0	0.7	0.7	0.4	0.7	2.6
Hf	11.8	5.9	11.7	12.0	9.9	9.8	8.9	17.3	0.5
Ta	2.0	2.0	3.0	-	-	-	2.3	2.8	0.3
Pb	44.0	30.0	50.0	19.0	17.0	34.0	27.6	70.0	4.0
Th	19.7	22.0	19.7	16.0	14.0	15.0	5.4	27.1	6.4
U	4.5	3.3	3.1	3.0	2.5	2.9	3.0	5.9	10.8

Примечание. Характеристика проб см. табл. 3. «-» – содержания не определялись, «<» – содержания ниже предела обнаружения.

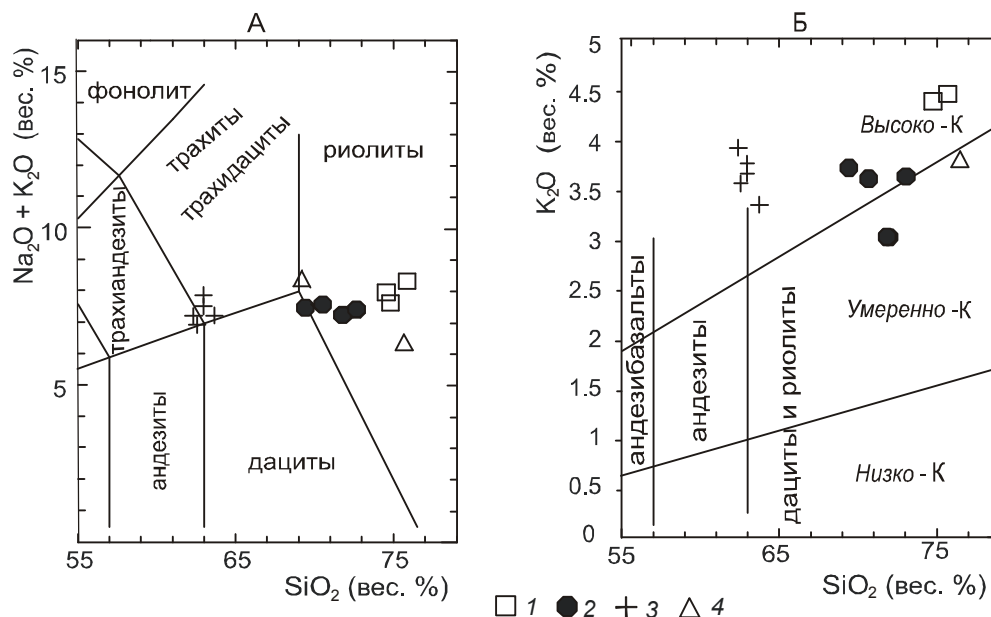


Рис. 6. Петрохимические диаграммы, по [28], состава вулканогенных пород Ванчинской впадины (А – $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$; Б – $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$).

1 – риолиты, 2 – перлиты, 3 – трахиандезиты, 4 – туфы витрокристаллокластические.

На диаграмме $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ точки состава покровных и экструзивных тел андезитов руч. Ванчин-Угольный и Безымянный располагаются вблизи границы перехода андезит-трахиандезит-трахидацит (рис. 6 А). По значению отношений $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ (0.82–1.06) породы относятся к калиево-натриевой серии. По коэффициенту глиноземистости трахиандезиты относятся к высокоглиноземистым и весьма высокоглиноземистым породам ($al' = 1.45\text{--}2.7$). На диаграмме $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ точки состава трахиандезитов расположены в поле высококалиевой серии вулканических пород (рис. 6 Б). Для пород характерны высокие концентрации крупноионных литофильных (LILE) и высокозарядных элементов (HFSE). На диаграммах нормированного распределения элементов в трахиандезитах выражены минимумы по Sr, Nb и Ti. Спектры редкоземельных элементов, нормированных к верхней части континентальной коры [23], имеют крутой положительный наклон от La к Eu, пологий отрицательный от Gd к Lu и отчетливо выраженный европиевый максимум. Следует отметить, что по геохимическому составу трахиандезиты Ванчинской впадины близки олигоцен-раннемиоценовым трахибазальтам Синеутесовской и трахиандезитам Пойменной впадин на юго-западе Приморья [14].

Содержание элементов-примесей и спектры распределения редких и редкоземельных элементов у слабоизмененных кислых вулканитов и цеолитизиро-

ванных вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород довольно близки (табл. 4, 5; рис. 7, 8). Исключение составляют подугольные цеолитизированные туфоалевролиты (проба 2-43), обедненные многими элементами-примесями. Эти породы подверглись интенсивному кислотному выщелачиванию в процессе фильтрации растворов, обогащенных органическими кислотами, поступающими из вышележащего угольного пласта на стадии диагенеза органического вещества углей. Подобный процесс, типичный для угленосных отложений и известный под названием “подугольное выветривание”, привел к каолинизации цеолититов и выносу из них целого ряда микрокомпонентов, в том числе и РЗЭ.

Для цеолититов характерно обогащение иттрием и тяжелыми лантаноидами по сравнению со слабоизмененными породами. Это находит яркое отражение в характерных для цеолититов Y-максимумах на РЗЭ-спектрах и асимметричной их форме, заметно отличающейся от РЗЭ-спектров слабоизмененных кислых вулканитов.

Обогащение растворов, вызвавших цеолитизацию туфов и туфогенно-осадочных пород, этими элементами подтверждается обильным накоплением Y и HREE в углефицированном органическом веществе (ОВ) (проба В-1/03у, зольность 5.7%), захороненном в цеолитизированных туфоалевролитах (проба В-1/03), перекрывающих угольный пласт (рудопрояв-

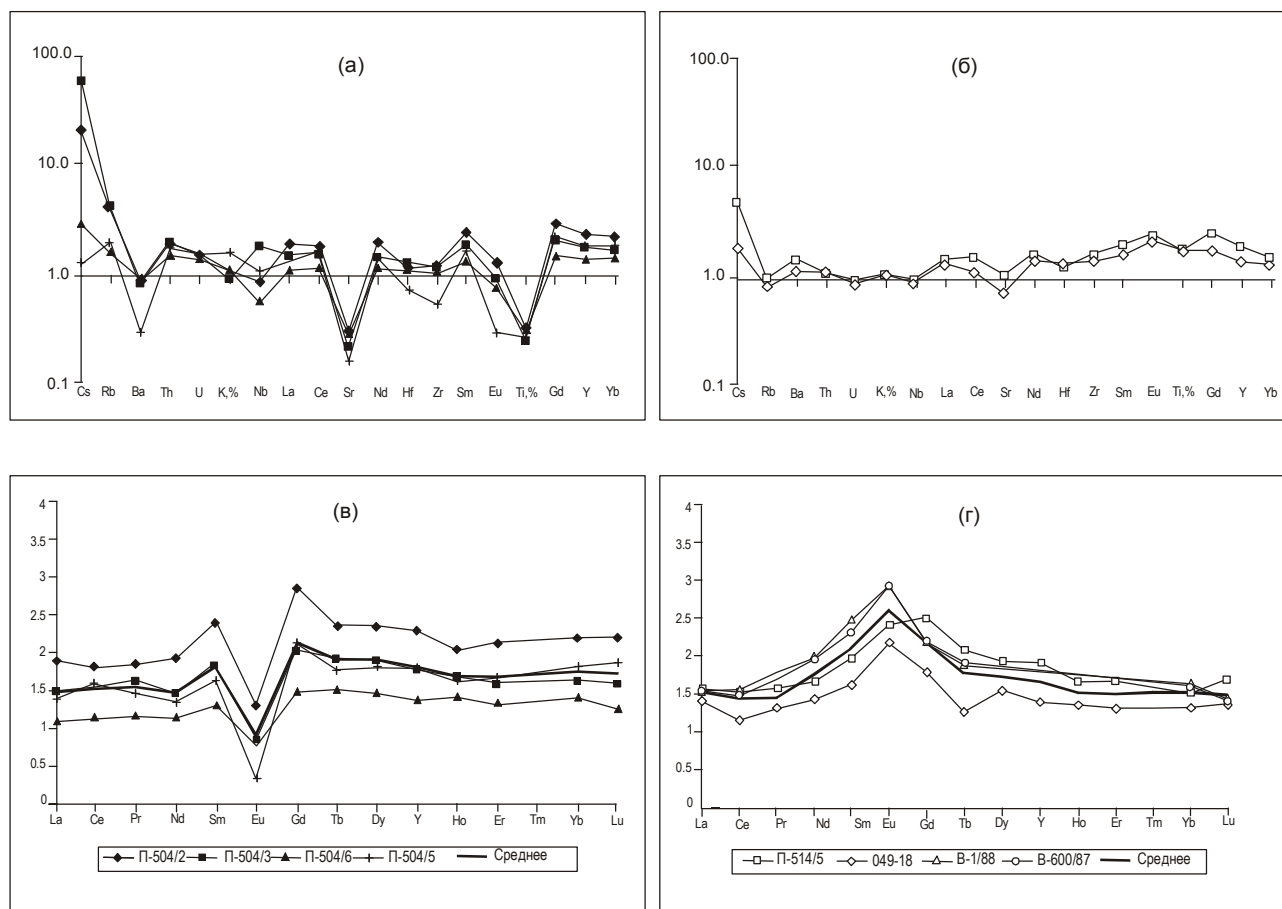


Рис. 7. Нормированное к составу верхней коры [23] распределение элементов в неизмененных и слабоизмененных кислых (а, в) и средних (б, г) вулканических породах Ванчинской впадины.

ление Угольное). Наряду с тяжелыми РЗЭ и Y в этом природном сорбенте фиксируются высокие концентрации и ряда других элементов (Ge, Nb, Zr), указывающие на обогащенность ими гидротермальных растворов, циркулирующих в вулканогенно-осадочном чехле Ванчинской впадины.

Повышенные концентрации РЗЭ в цеолититах, обогащенных растительным детритом, связанные, очевидно, с повышенной сорбционной емкостью ОВ, уже отмечались ранее [27]. Однако наиболее контрастно сорбция РЗЭ органическим веществом отразилась в сильном обогащении этими элементами при контактовых зон угольных пластов, залегающих в цеолитизированных породах [19]. Преимущественно органическая форма нахождения РЗЭ в углях Ванчинского грабена, аномально обогащенных этими элементами, подтверждена экспериментально [20].

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Образование Ванчинской рифтогенной впадины, так же как и других подобных ей отрицательных

северо-западных и субширотных структур Восточного Сихотэ-Алиня – Зеркальненской, Верхнебикинской, Максимовской, Кедровской и др., отражает раннекайнозойский этап тектонической активизации континентальной окраины Азии, обусловленный изменением направления движения океанической и континентальной литосферных плит с образованием трансформной границы Тихоокеанской плиты и Азиатского континента [10, 26]. Для этого этапа характерно развитие вдоль границ плит сначала систем левосторонних [25], а затем правосторонних [4, 21, 31] сдвигов и формирование синдвиговых бассейнов с присущими им процессами вулканизма и осадконакопления.

На континентальной окраине Япономорского бассейна синдвиговые бассейны выделены в Хасано-Амурский ареал рифтогенных впадин [15], протягивающийся от Кильяжу-Менчхонской впадины и впадины Кенсон (Северная Корея) до Бухтыанской и Масловской в приустьевой части Амура. Он объединяет рифтогенные вулканические впадины, наложен-

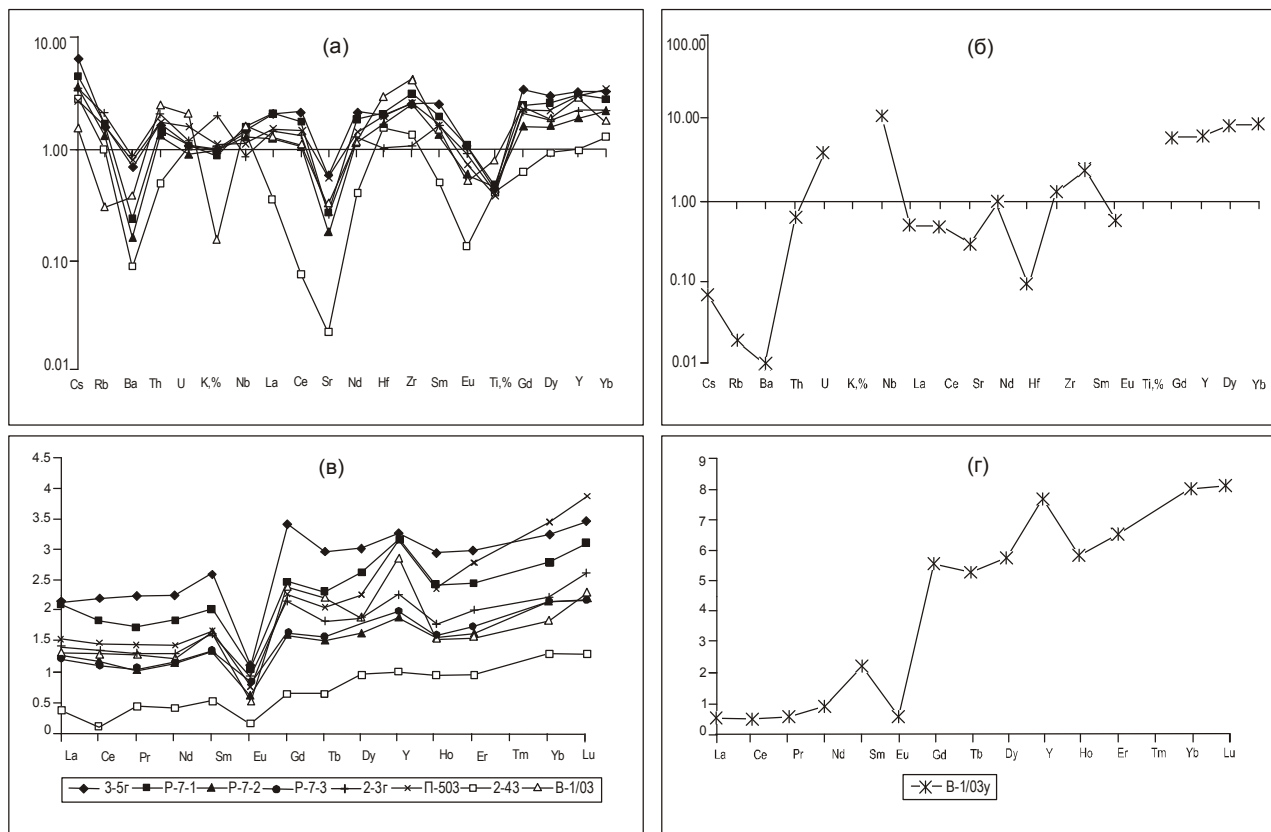


Рис. 8. Нормированное к составу верхней коры [23] распределение элементов в цеолитизированных вулканических и вулканогенно-осадочных породах (а, в) и в захороненном в них органическом веществе (б, г).

ные на аккрецированные докайнозойские породы фундамента и надсубдукционные позднемерловы эффузивы Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса.

Ранее [7] было показано, что вулканизм кайнозойских рифтогенных впадин Восточного Сихотэ-Алия (в пределах Таухинского и Журавлевского террейнов) по времени проявления и геохимическим особенностям пород близок вулканизму кайнозойских рифтогенных впадин Лаоелин-Гродековского террейна (Юго-Западное Приморье). Однако полученные нами новые датировки К/Аг возраста риолитов ($44,7 \pm 1,0$ млн лет) и трахиандезитов (43 ± 4 млн лет) Ванчинской впадины и U/Pb возраста цирконов из трахидацитов Кедровской кальдеры на севере Приморья ($43,2 \pm 1,3$ млн лет, неопубликованные данные авторов), в совокупности с данными К/Аг датировок базальтов Зеркальненской депрессии: $47,3 \pm 1,2$ млн лет [29] и $45,8 \pm 1,1$ млн лет [30], указывают на то, что ареальный базальт-риолитовый вулканизм на территории Восточного Сихотэ-Алия проявился в раннем-среднем эоцене. В рифтогенных впадинах Лаоелин-Гродековского террейна бимодальный вул-

канизм проявился позднее – 38.1–34.4 (базальты и андезиты) – 33.5 (риолиты и дациты) млн лет назад [17]. Исключение составляют экструзивные дациты г. Школьной (юго-западный борт Амбинской впадины), расположенные вблизи тектонического шва, отделяющего Арсеньевскую зону от Лаоелин-Гродековского террейна. Для экструзивных дацитов Rb-Sr изохронный возраст составляет $46,2 \pm 0,5$ млн лет [17]. Выявленная особенность пространственно-временной миграции вулканизма связывается, по [17], со знакопеременными вращательными движениями Тихоокеанской плиты, приводящими к поочередной смене режимов сжатия и растяжения континентальной окраины в Арсеньевской зоне и Лаоелин-Гродековском террейне.

Ванчинская и граничащая с ней с запада Березовская впадины представляют собой бассейны синдвигового растяжения вдоль Центрального Сихотэ-Алинского (субмеридионального) и Фурмановского (северо-восточного) разломов, по которым в мезозое-кайнозое проходили неоднократные левосторонние сдвиги с амплитудой горизонтального перемещения (по Центральному разлому) до 100 км [6].

Синсдвиговая природа кайнозойских впадин Восточного Сихотэ-Алиня, аналогичных Ванчинской и Березовской, была показана ранее в работах В.П. Уткина [3, 25 и др.].

Определенный С.И. Невוליной и Б.И. Павлюткиным палеоценовый возраст ископаемых растений из нижней части разреза угленосных отложений Ванчинской впадины свидетельствует о зарождении структуры в начальный период извержений Союзненского вулкана, расположенного на ее юго-восточном фланге. Кварц-адуляровые жилы с золото-серебряной минерализацией на месторождении Союзное формировались в интервале 45–49 млн лет назад [18, 24], т.е. синхронно с завершением длительного развития кислого вулканизма в Союзненском вулканическом центре и началом бимодального вулканизма в центральной части грабена.

Ванчинская впадина представляла собой замкнутый односторонний грабен с крутым юго-западным тектоническим бортом, с крупным озерным бассейном – основным аккумулятором терригенных и вулканокластических осадков. Палеоцен-раннеэоценовое погружение впадины компенсировалось накоплением конгломератов и более тонких вулканогенно-осадочных пород. Значительная примесь в них вулканических пеплов, смена в юго-восточном направлении горизонтов туфопесчаников, туфоалевролитов и туфитов витрокластическими туфами риодацитов свидетельствуют о синхронности процессов осадконакопления и вулканизма. Невыдержанность гранулометрического и минерального состава осадочных пород, постоянная примесь пирокластического материала, малая мощность и прерывистость угольных пластов, непоследовательное чередование осадочных и вулканокластических пород, нарушение слоистости, следы взмучивания и оползания слоев свидетельствуют о нестабильной обстановке процессов седиментации, типичной для депрессионных структур активных вулканических областей [2].

По литологическому составу и комплексу флоры породы основания впадины хорошо коррелируют с вулканогенно-осадочными образованиями тадушинской свиты из основания Зеркальненской впадины, также включающей горизонты цеолитизированных пород. Как было показано для Зеркальненской впадины [12], источником вулканокластического материала, составляющего существенную долю среди отложений, служили эксплозивные извержения риолитов богопольского комплекса, происходившие 59.68 ± 1.59 – 52.92 ± 1.00 млн лет назад. Возможно, аналогичным образом шло поступление вулканокластического материала в Ванчинскую впадину в

начальные этапы ее развития. Его источником могли быть продукты эксплозивных извержений Союзненского палеовулкана.

Риолиты Ванчинской впадины по возрасту и химическому составу сопоставимы с риолитами и трахидацитами кедровского комплекса, выделенного в верховьях р. Кузнецовая (руч. Кедровый) на севере Приморья. С кислыми вулканическими стеклами и пеплами кедровского комплекса в одноименной (Кедровской) кальдере также связаны проявления цеолититов [9, 11]. Заключительная стадия вулканизма впадины завершилась извержениями трахиандезитов, сформировавших небольшую вулканическую постройку. Ее фрагменты фиксируются в центральной части впадины в виде обнажений эксплозивных туфоконгломератов, лавовых потоков и экструзивных тел афировых и стекловатых трахиандезитов. Необычный характер распределения в трахиандезитах HFSE и редких земель мог обуславливаться взаимодействием базальтовых расплавов с кислым материалом коры с последующей селективной контаминированностью магм. Такой механизм был рассмотрен нами ранее при изучении калиевых трахибазальтов и трахиандезитов в известково-щелочных сериях [14]. С этой финальной фазой трахиандезитового вулканизма, вероятно, связана и цеолитовая минерализация Ванчинской впадины.

Последующее развитие Ванчинского грабена носило амагматический характер и состояло, главным образом, в вертикальных тектонических движениях и накоплении мощной толщи фангломератов у его крутого приразломного борта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ванчинская впадина выполнена палеоцен-раннеэоценовой вулканогенно-осадочной угленосной толщей и лаво-пирокластической толщей риолитов и трахиандезитов, сформировавшихся в среднем эоцене. Это подтверждается палеоботаническими данными и результатами калий-аргонового датирования вулканических пород.

Среднеэоценовые риолиты и трахиандезиты Ванчинской впадины по возрасту (43–47 млн лет) сопоставимы с аналогичными породами рифтогенных впадин Восточного Сихотэ-Алиня. Формирование близких им по геохимическому составу андезитов и риолитов рифтогенных впадин Лаоелин-Гродековского террейна (Юго-Западное Приморье), происходило значительно позднее – 38–33 млн л.н.

Вулканические породы относятся к высококалийевой серии и характеризуются значительными вариациями концентраций крупноионных литофильных,

высокозарядных и редкоземельных элементов с Еу минимумом в риолитах и максимумом в трахиандезитах.

По химическому составу цеолитизированные породы (перлиты, витрокластические туфы и туфопесчаники) из разных частей разреза вулканогенно-осадочных отложений впадины близки между собой, значительная часть из них аномально обогащена иттрием и НРЭЕ. Формирование цеолититов связано с гидротермальным изменением кислых вулканических и вулканогенно-осадочных пород в заключительную стадию проявления вулканической деятельности на территории Ванчинского грабена.

Авторы выражают благодарность Павлуткину Б.И. и Петренко Т.И. за палеоботанические определения и полезные советы.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов ДВО РАН № 09-III-B-08-462, 09-III-A-08-407, гранта РФФИ 08-05-90300-Вьет_а и Проекта 1.1.2 Программы Президиума РАН № 14.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бидюк Ю.П. Объяснительная записка к геологической карте СССР м-ба 1:200 000 Серия Сихотэ-Алинская Лист К-53-III М., 1983. 154 с.
- Ван А.В., Казанский Ю.П. Вулканокластический материал в осадках и осадочных породах. Новосибирск: Наука, 1985. 128 с.
- Вулканические пояса Востока Азии. М.: Наука, 1984. 504 с.
- Голозубов В.В., Микловда С.В., Донг-У Ли и др. Динамика формирования кайнозойской Угловской впадины // Тихоокеан. геология. 2007. Т. 26, № 4. С. 22–33.
- Жариков В.А., Русинов В.Л., Маракушев А.А. Метасоматизм и метасоматические породы. М.: Науч. мир, 1998. 492 с.
- Иванов Б.А. Центральный Сихотэ-Алинский разлом (сдвиг) // ДАН СССР. 1961. Т. 138, № 4. С. 900–903.
- Мартынов Ю.А., Коваленко С.В., Рассказов С.В., Саранина Е.В. Геохимия и вопросы металлогении постсубдукционных известково-щелочных вулканитов Юго-Западного Приморья // Рудные месторождения континентальных окраин. Вып. 2. Владивосток: Дальнаука, 2001. С. 5–20.
- Михайлов А.С., Буров А.И., Аблямитов П.О. Промышленная цеолитонность Сибири и Дальнего Востока. М.: ВИЭМС, 1980. 44 с.
- Паничев А.М. Зверовые солонцы Сихотэ-Алиня (биолого-геологический аспект). Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. 208 с.
- Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И. и др. Модель формирования орогенных поясов центральной и северо-восточной Азии // Тихоокеан. геология. 2003. Т. 22, № 6. С. 4–41.
- Попов В.К. Петрология палеоген-неогеновых комплексов Восточного Сихотэ-Алиня. Владивосток, 1986. 153 с.
- Попов В.К., Гребенников А.В. Новые данные о возрасте эффузивов богоспольской свиты в Приморье // Тихоокеан. геология. 2001. Т. 20, № 3. С. 47–54.
- Попов В.К. Особенности проявления и состава интрузивных пирокластитов в кайнозойских впадинах Юго-Западного Приморья // Вулканизм и геодинамика: Материалы II Всерос. симпоз. по вулканологии и палеовулканологии. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2003. С. 704–709.
- Попов В.К., Рассказов С.В., Чекрыжов И.Ю. и др. Калий-аргоновые датировки и геохимические характеристики кайнозойских трахибазальтов и трахиандезитов Приморья // Ежегодный семинар “Геохимия магматических пород” (ГЕОХИ РАН) / Труды науч. школы “Щелочной магматизм Земли” 26–27 апреля 2005 г. М., 2005. С. 133–135.
- Попов В.К., Гребенников А.В. Хасано-Амурский ареал (палеоцен–миоцен). Кислый вулканизм // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Отв ред. А.И. Ханчук/. Владивосток: Изд-во ДВО РАН, 2006. С. 354–361.
- Рассказов С.В., Логачев Н.А., Брандт И.С. и др. Геохронология и геодинамика позднего кайнозоя (Южная Сибирь – Южная и Восточная Азия). Новосибирск: ВО Наука: СО, 2000. 288 с.
- Рассказов С.В., Ясныгина Е.В., Саранина Е.В. и др. Кайнозойский магматизм Юго-Западного Приморья: импульсное плавление мантии и коры // Тихоокеан. геология. 2004. Т. 23, № 6. С. 3–31.
- Руб М.Г., Ашихмина Н.А. Особенности состава сереброносных вулканоплутонических ассоциаций Южного Приморья // Докл. РАН. 1997. Т. 355, № 1. С. 97–100.
- Середин В.В. О новом типе редкоземельного оруденения кайнозойских угленосных впадин // Докл. АН СССР. 1991. Т. 320, № 6. С. 1446–1450.
- Середин В. В., Шпирт М.Ю. Редкоземельные элементы в гуминовом веществе металлоносных углей // Литология и полез. ископаемые. 1999. № 3. С. 281–286.
- Середин В.В., Томсон И.Н. Западно-Приморская благородно-редкометалльная зона – новый кайнозойский металлогенический таксон Востока России // Докл. РАН. 2008. Т. 420, № 6. С. 799–804.
- Середин В.В., Чекрыжов И.Ю. Новые данные о кайнозойском вулканизме и гидротермальной минерализации Ванчинской впадины (Приморье) // Проблемы геологии рудных месторождений, минералогии, петрографии и геохимии: Материалы науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения акад. Ф.В. Чухрова. М.: ИГЕМ РАН, 2008. С. 187–189.
- Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
- Томсон И.Н., Полякова О.П., Сидоров А.А., Алексеев В.Ю. Золото-серебряное месторождение Союзное в Приморье и его перспективы (Россия) // Геология руд. месторождений. 2002. Т. 44, № 4. С. 304–313.
- Уткин В.П. Сдвиговые дислокации, магматизм и рудообразование. М.: Наука, 1989. 166 с.
- Ханчук А.И., Голозубов В.В., Мартынов Ю.А., Симаненко В.П. Раннемеловая и палеогеновая трансформные окраины (калифорнийский тип) Дальнего Востока России // Тектоника Азии: Тез. XXX тектон. совещ. М., 1997. С. 240–243.
- Chekryzhov I.Y., Popov V.K., Panichev A.M. Geochemistry and geodynamic regimes of formation of paleogenic zeolite-

- bearing volcaogenic complexes of Primorye // Metallogeny of the Pacific Northwest: tectonics, magmatism and metallogeny of active continental margins. Proceedings of the Interim IAGOD Conference Vladivostok, Russia: 1–20 September 2004. P. 35–38.
28. Le Maitre R.W., Bateman P., Dudek A. et al. A classification of igneous rocks and glossary of terms / Ed. Le Maitre/ Blackwell, Oxford, 1989. 193 p.
29. Okamura S., Martynov Y.A., Furuyama K., Nagao K. K-Ar ages of the basaltic rocks from Far East Russia: Constraints on the tectono-magmatism associated with the Japan Sea opening // The Island Arc. 1998. № 7. P. 271–282.
30. Otofujii Y., Matsuda T., Itaya T. et al. Late Cretaceous to early Paleogene paleomagnetic results from Sikhote Alin, far eastern Russia: implications for deformation of East Asia // Earth Planet. Sci. Lett. 1995. V. 130. P. 95–108.
31. Seredin, V. V., Golozubov, V. V. Metallogeny of Cenozoic rifting structures of Primorye region. In: A.I. Khanchuk (eds). Tectonics and Metallogeny of the Circum-North Pacific and Earsten Asia. Proc. of the Leonid Parfenov Memorial Conference, Khabarovsk, ITIG RAS, 2007. P. 531–533.

Рекомендована к печати Л.И. Попеко

I.Yu. Chekryzhov, V.K. Popov, A.M. Panichev, V.V. Seredin, E.V. Smirnova

New data on stratigraphy, volcanism, and zeolite mineralization of the Cenozoic Vanchinskaya depression, Primorye

The paper presents the results of study of the Cenozoic volcanogenic-sedimentary cover of the Vanchinskaya depression of the Sikhote-Alin. We have established that regarding the composition of fossil plants, the basal part of the Cenozoic section corresponds to the Paleocene; and the overlying coal bed, to the Early Eocene. Radioisotopic dating (K-Ar method) proves that the age of the volcanic rocks intruding and overlying the coal deposits correspond to the Early Eocene: rhyolites, 44.7 ± 1.0 Ma., and trahyandesites, 43.7 ± 1.4 Ma. Petrographic and geochemical characteristics of effusive and volcanogenic-sedimentary rocks and related zeolitites are cited. The zeolitized rocks show an anomalously high content of yttrium and heavy rare earths. We have established that zeolitization of volcanic glass enclosed in tuffs, tuffites, and perlites was affected by hydrothermal solutions, circulating along the zones of NW faults and is genetically related to the subsurface magmatic chamber

Key words: Cenozoic, stratigraphy, volcanism, geochemistry, zeolitites, Sikhote-Alin.