

УДК 551

ЛОКАЛЬНАЯ ТЕКТОНИКА И СЕДИМЕНТАЦИЯ В ГРАБЕНАХ СРЕДНЕРУССКОГО АВЛАКОГЕНА (ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКАЯ ПЛАТФОРМА)

© 2015 г. Н. П. Чамов

Геологический институт РАН
119017 Москва, Пыжевский пер. 7;
E-mail: nchatov@yandex.ru

Поступила в редакцию 29.12.2014 г.

Влияние локальных тектонических процессов, определивших индивидуальный характер развития каждого отдельного грабена Среднерусского авлакогена, наиболее ярко проявилось в одновременном и разном по характеру и интенсивности появлении специфической кластики в их осадочных разрезах. На фоне стабильного состава кластогенного каркаса терригенных отложений молоковской серии неопротерозоя установлены интервалы осадочного разреза мощностью от десятков до первых тысяч метров, в которых тяжелая фракция песчаников резко обогащена (35–95%) остроугольными зернами эпидота. Ряд признаков (относительная нестойкость эпидота в зоне гипергенеза, неокатанность и свежий облик обломков, отсутствие связи между привнесом эпидота и содержанием основных породообразующих компонентов) свидетельствует о формировании эпидотовых аномалий за счет локальных источников. Анализ возможных геодинамических механизмов развития Среднерусского авлакогена, структуры образующих его грабенов, строения и состава верхней части консолидированной коры позволил предположить, что источником специфической кластики являлись обогащенные эпидотом blastsмилониты, присутствующие среди метаморфических пород фундамента в виде аномальных по петро-геофизическим свойствам пластов. Сопоставление кристаллов и зерен эпидота из blastsмилонитов и осадков показал, что они имеют сходный габитус, размеры, оптические характеристики и содержат 25–30% пистацитового компонента, что характерно для вторичного эпидота, образующего псевдоморфозы по биотиту и амфиболу в условиях частичного плавления. Закономерности положения в осадочном разрезе обогащенных эпидотом интервалов объяснены соотношением элементов залегания сместителей неопротерозойских сбросов и палеопротерозойских blastsмилонитовых пластов, служивших локальными источниками кластики. Этот же фактор влиял на фациальную принадлежность осадочных комплексов и структурную эволюцию бассейнов седиментации. При секущих сбросах, особенно в случаях пологого залегания blastsмилонитовых пластов, формировались грабены с реологически обусловленным пределом погружения (молоковский тип). Здесь погружение пород гранитоидного состава в более плотный амфиболитовый субстрат ограничивалось силами изостатического выравнивания. При неизменном региональном поле напряжений после достижения предела погружения грабены этого типа испытывали латеральное расширение, что приводило к накоплению регрессивных осадочных последовательностей с необратимым переходом от озерных к аллювиально-пролювиальным отложениям. Для этого типа грабенов характерно одноактное проявление локального источника кластики независимо от стадии развития структуры. Энергетически более выгодное развитие сбросов вдоль blastsмилонитовых пластов (рослятинский тип) не нарушало изостатического равновесия и приводило к образованию узких глубоких грабенов, в которых обстановки седиментации радикально не изменялись со временем. Поступление эпидота продолжалось на протяжении всего существования пространства аккомодации, поскольку прогрессивное углубление грабена постоянно стимулировало активность его локального источника.

DOI: 10.7868/S0024497X1506004X

Взаимосвязь тектонических и осадочных процессов реализуется на разных иерархических уровнях — от общей геодинамической позиции области седиментации до локальных структур, а также на разных этапах существования обломочного материала — от мобилизации и переноса до его фиксации и превращения в породу. Все эти разноплановые — длительные или катастрофиче-

ские (“лавинные”) события реализуются в рамках столь же разномасштабных тектоно-седиментационных систем. Термин этот в явном виде не используется, хотя именно он определяет пространственные размеры и энергетику взаимодействия тектонических и осадочных процессов.

Тектоно-седиментационная система понимается нами как поле деятельности процессов, ко-

торые происходят при обязательном участии структурообразования и осадконакопления [Чамов, 2013а], причинно-следственная взаимосвязь которых может быть определена как тектоносе-квентная седиментация или выраженная в осадочных образованиях тектоника.

Разнопорядковость структурообразующих процессов определяет иерархическую организацию (соподчиненность) тектоно-седиментационных систем (ТСС), которые характеризуют разные по объему структурно-морфологические области. Так, с глобальной тектоникой связано развитие ТСС в масштабах литосферных плит, с региональной – провинций и их частей. В практическом отношении наиболее важны ТСС, связанные с проявлением локальных тектонических процессов, под которыми понимается реализация усилий, созданных региональным полем напряжений, в масштабе конкретного геологического объекта. Заложение, развитие, геометрия и, часто, состав локальных форм полностью определяется местной реакцией геологической среды на тектоническое воздействие более высокого уровня.

Статья посвящена рассмотрению некоторых аспектов влияния локальной тектоники на структурообразование и накопление осадков в Среднерусском авлакогене – неопротерозойской комpositивной структуре в составе Среднерусско-Беломорской провинции Восточно-Европейской платформы (рис. 1а).

Формирование авлакогена связано с крупномасштабным расхождением земной коры за счет региональных сдвиговых движений в неопротерозе [Чамов, 2013б]. Локальные закономерности/неоднородности строения фундамента определили его реакцию на приложение региональных тектонических напряжений и привели к образованию генетически родственных структурно-обособленных присдвиговых грабенов (см. рис. 1б). При общем сходстве процессов, каждый из грабенов являлся самостоятельной тектоно-седиментационной системой, что отражено в индивидуальных фациальных чертах выполняющих его осадочных комплексов.

Вариациями локальных условий растяжения обусловлено формирование двух принципиально различных структурно-фациальных типов грабенов. К одному типу относятся широкие (десятки–первые сотни км) и относительно мелкие (не глубже 3.5 км) грабены, в разрезах которых отчет-

ливо выражена регрессивная смена осадочных фаций – от сероцветных отложений глубоководных озер к аллювиально-пролювиальным субаэральным красноцветам. Такие бассейны тяготеют к юго-западному флангу авлакогена (см. рис. 1в). К другому типу относятся известные только на северо-восточном фланге авлакогена узкие (первые десятки км) и глубокие (до 5 км и, возможно, более) грабены, разрезы которых представлены чередованием фаций глубоководных (сероцветы) и мелководных (пестроцветы) озер.

Наиболее ярко влияние локальной тектоники, свидетельствующее об исключительно индивидуальном характере развития каждого отдельного грабена, проявилось в одновременном и разном по характеру и интенсивности появлении в осадочных разрезах специфической кластики – большого количества остроугольных зерен эпидота (см. рис. 1в).

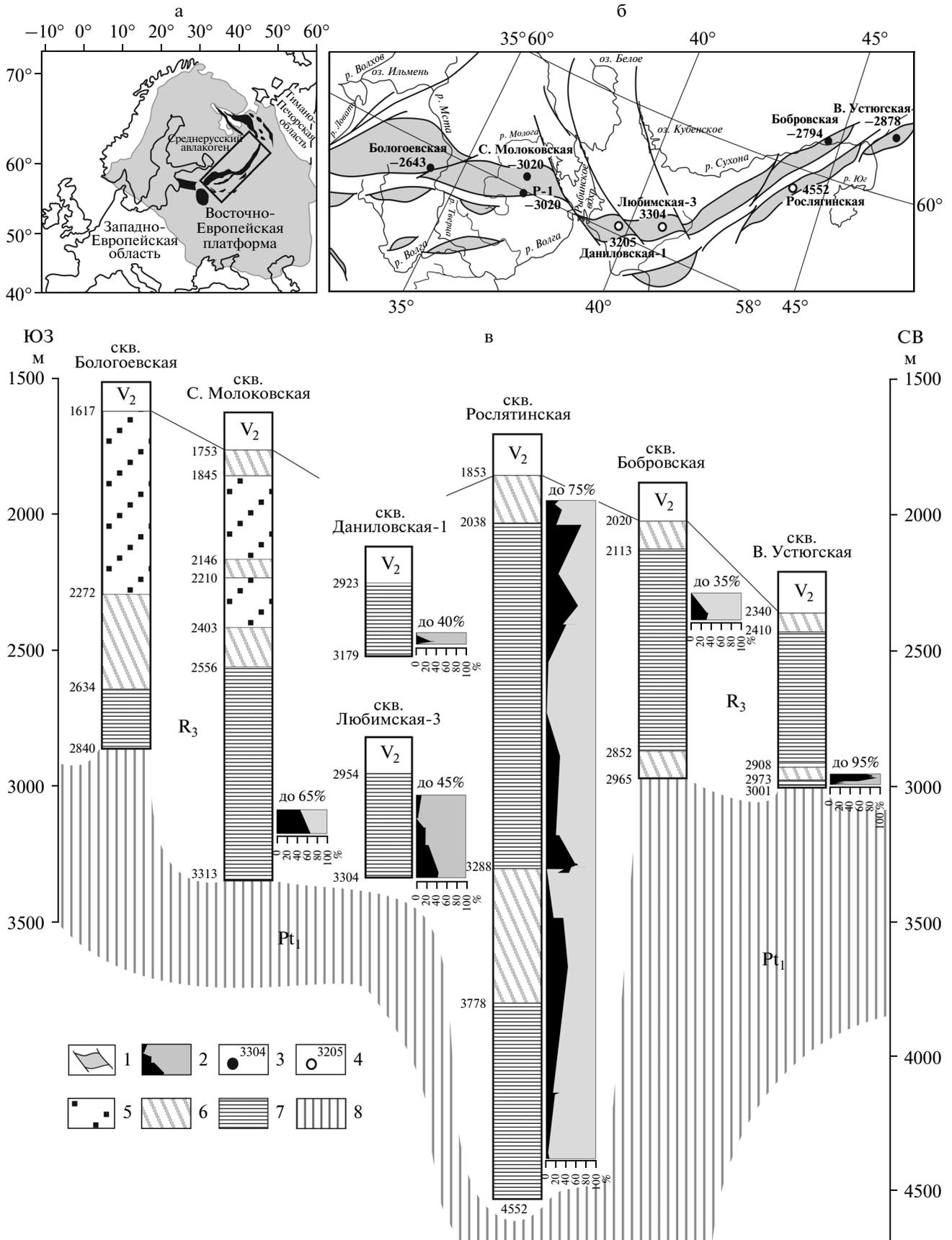
Эпидот не является химически стойким минералом и легко корродируется вплоть до полного растворения в зоне гипергенеза, особенно в случае воздействия агрессивного флюида. Свежий облик и неокатанность изученных зерен эпидота свидетельствует о близости его источника к области накопления осадков. Поскольку отложения грабенов относятся к первому циклу седиментации, а сами грабены являются структурами фундамента, таким источником могли стать только слагающие его богатые эпидотом разности. Среди метаморфических пород фундамента эпидот широко развит только в палеопротерозойских бластомилонитах, где он входит в состав породообразующих минералов наряду с кварцем, полевыми шпатами, роговой обманкой, биотитом и сфеном.

Следует подчеркнуть, что в изученных поздне-рифейских терригенных отложениях вулканогенные компоненты отсутствуют и нет оснований связывать появление эпидота с гипотетическим позднерифейским магматизмом.

Эти соображения легли в основу предположения о возможном поступлении эпидота из бластомилонитов фундамента в песчаники [Чамов и др., 2010], однако детальной интерпретации установленного явления выполнено не было, а, главное, не были предложены тектоно-седиментационные модели, согласующие появление бластомилонитов в области размыва и положение

Рис. 1. Среднерусский авлакоген: а – положение в составе Среднерусско-Беломорской провинции Восточно-Европейской платформы, б – тектоническая схема, в – строение осадочного разреза.

1 – грабены; 2 – содержание обломочного эпидота в тяжелой фракции песчаников, %; 3, 4 – скважины и глубины: 3 – вошедшие в фундамент и абсолютные отметки его кровли, 4 – остановленные в осадочной толще и относительные отметки по бурению; 5–7 – отложения молоковской серии (неопротерозой, R₃): 5 – красноцветные песчаные рифтовых долин, 6 – пестроцветные песчано-алевритно-глинистые мелких озер, 7 – сероцветные алевритно-глинистые глубоких озер; 8 – породы фундамента (палеопротерой, Pt₁).



обогащенных эпидотом интервалов в осадочном разрезе.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Кластогенный каркас песчаников и эпидотовые аномалии в их составе

Выполняющие грабены Среднерусского авлакогена фациальные типы красноцветных и сероцветных отложений молоковской серии неопротероза сходны по составу. Они представлены полевошпат-кварцевыми олигомиктовыми и аркозовыми песчаниками, полевошпат-кварцевыми алевритами и в различной степени алевритистыми хлорит-гидрослюдисто-слюдисто-каолинитовыми аргиллитами [Чамов и др., 2010]. Одинаков и поликомпонентный состав глинистого вещества в песчано-алевритовых породах и в аргиллитах. Общая структурно-вещественная незрелость отложений и характерное присутствие обломков метаморфических пород фундамента свидетельствуют о близости источников кластогенного материала.

Согласно данным валового химического анализа пород их состав на протяжении всего времени накопления отложений молоковской серии практически не менялся, хотя диаграммы отношений главных оксидов отражают некоторое вызревание материала во времени. Показательным является распределение в породах отношения $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$. Независимо от их типа оно варьирует в интервале 0.85–2 в породах фундамента, сохраняется на уровне 0.5 в сероцветной толще и, начиная с отложений красноцветной толщи, резко и закономерно уменьшается вверх по разрезу в вендских и кембрийских отложениях платформенного чехла.

В составе тяжелой фракции сероцветных и пестроцветных аркозовых песчаников, выполняющих грабены Среднерусского авлакогена, присутствуют умеренные и сходные по значениям концентрации роговой обманки, сфена, циркона, граната, турмалина, ставролита и рудных минералов.

На фоне стабильного состава кластогенного каркаса отложений молоковской серии особенно контрастным оказалось резкое обогащение некоторых интервалов осадочного разреза остроугольными зернами эпидота, содержание которых в тяжелой фракции песчаников составляет 35–95%. Мощность таких “эпидотовых интервалов” варьирует от первых десятков до 2000 м (табл. 1, см. рис. 1в).

Общая закономерность распределения обломочного эпидота внутри аномального интервала сводится к появлению снизу вверх по разрезу значимых его концентраций в составе тяжелой фракции, достижению максимальных значений и постепенному их снижению. Наиболее часто в раз-

резах выделяется один обогащенный эпидотом интервал, однако в Рослятинской скважине, глубина которой составляет 4552 м, выделяются минимум три таких интервала (см. рис. 1в).

Положение “эпидотовых интервалов” в осадочных разрезах грабенов можно разделить на три типа: молоковский – интервалы расположены вблизи фундамента (скв. С.-Молоковская, Р-1, Великоустюгская); бобровский – интервалы удалены от фундамента на десятки и сотни метров (скв. Бобровская, Даниловская-1) и рослятинский – интервал соответствует всему или большей части осадочного разреза (скв. Рослятинская, Любимская-3).

Морфология зерен эпидота в осадках

В прозрачных шлифах видно, что зерна эпидота представляют собой практически неокатанные обломки, часто угловатые и имеющие острые сколы (рис. 2).

При сопоставлении песчаников из разных частей Молоковского грабена закономерного изменения размеров от бортовой части грабена к его осевой части не отмечается. Так, в прибортовой части грабена в одном поле зрения шлифа наблюдаются зерна с самыми разными соотношениями размеров – от 0.05 мм до 0.20 мм (см. рис. 2а). В то же время, именно здесь отмечены наиболее угловатые (рогульчатые) и крупные (около 0.3×0.3 мм) зерна эпидота (см. рис. 2б). В отложениях центральной части грабена и в прибортовых отложениях окатанность зерен, а также их вариации по размерам, одинаковы. В одном поле зрения шлифа наблюдаются зерна, размер которых широко варьирует от 0.07 мм до 0.35 мм (см. рис. 2в). О слабой окатанности зерен свидетельствует наличие удлиненных зерен с размерами 0.10×0.25 мм (см. рис. 2в) и 0.10×0.35 мм (см. рис. 2г), т.е. зерен с коэффициентами удлинения 2.5–3.5 соответственно.

В ряде случаев зерна эпидота содержат реликты исходных минералов (см. рис. 2д, е).

Морфология зерен эпидота в бластомилонитах

В бластомилонитах эпидот образуется при замещении роговой обманки или биотита (рис. 3). Размеры кристаллов варьируют в пределах 0.1–0.5 мм, что соответствует диапазону размеров зерен эпидота в песчаниках осадочного чехла.

Хорошо оформленные характерные кристаллографические очертания эпидота позволяют предположить его формирование в условиях частичного плавления. Позднее образование эпидота подчеркивается заключенными в его кристаллах округлыми или сильно корродированными реликтами вмещающих минералов-протолитов (см. рис. 3а, д, е, з).

Таблица 1. Содержания эпидота, границы интервалов обогащения эпидотом тяжелой фракции песчаников, относительные (по бурению) глубины главных поверхностей раздела и забоев скважин

Интервал, м	Содержание эпидота, мас. %	Источник данных (геологические отчеты)
Северо-Молоковская (кровля рифея 1753 м; кровля фундамента 3183 м; забой 3313 м)		
3077–3084	60	Цветков Л.Д., Чамов Н.П., Костылева В.В. и др. Детальное изучение геологического разреза Северо-Молоковской параметрической скважины. Объект № 065. Ярославль: ФГУП “Недра”, 2001. Определение содержаний эпидота: минералог: Костылева В.В. (ГИН РАН).
3077–3084	62	
3077–3084	45	
3157–3164	60	
3157–3164	65	
3157–3164	62	
3157–3164	60	
Даниловская-1 (кровля рифея 2923 м; кровля фундамента не вскрыта; забой 3179 м)		
2894–2899	1	Усанов Н.А. Результаты поискового бурения на нефть и газ на Даниловской площади в 1967–1976 гг. Ярославль: ЯНГР, 1979. Определение содержаний эпидота: ЯНГР.
2950–2954	1	
2954–2958	2	
3079–3087	29	
3079–3087	28	
3079–3087	38	
3125–3130	7	
3130–3134	5	
3130–3134	4	
3134–3139	22	
3134–3139	4	
3134–3139	3	
3134–3139	3	
3146–3153	6	
Любимская-3 (кровля рифея 2954 м; кровля фундамента не вскрыта; забой 3304 м)		
2956–2965	1	Кагарманян Н.А., Ейкина Т.С., Мазур О.А. Геологический отчет о результатах поискового бурения на нефть и газ на Любимской площади (Ярославская область). Ярославль: ЯНГР, 1975. Определение содержаний эпидота: ГУЦР, ВНИГНИ, ОЦЛ.
2956–2965	0	
2956–2965	2	
2956–2965	7	
2965–2985	1	
2985–2901	1	
2985–2901	11	
3038–3050	4	
3038–3050	14	
3080–3088	15	
3080–3088	18	
3158–3163	18	
3158–3163	14	
3158–3163	24	
3277–3280	43	
3301–3304	42	
3301–3304	42	
3301–3304	21	

Таблица 1. Продолжение

Интервал, м	Содержание эпидота, мас. %	Источник данных (геологические отчеты)
Рослятино (кровля рифея 1853 м; кровля фундамента не вскрыта; забой 4552.1 м)		
1929–1933	24	
1942–1945	16	
1961–1964	29	
2020–2022	19	
2022–2024	65	
2200–2206	23	
2316–2321	59	
2384–2388	31	
2384–2388	55	
2388–2392	37	
2523–2525	4	
2711–2715	1	
2867–2881	26	
3158–3163	18	
3158–3163	14	
3158–3163	24	
3266–3271	53	
3266–3271	56	
3271–3275	59	Горбачев И.Ф. Отчет о результатах бурения Рослятинской параметрической скважины № 1 в Бабушкинском районе Вологодской области. Ярославль: ЯНГР, 1973. Определение содержаний эпидота: минералоги Савинова В.А., Десятов В.М. (ЯНГР); в интервалах 3158–3163 м и 3301–3304 м – ВНИГНИ.
3271–3275	57	
3271–3275	55	
3275–3280	46	
3275–3280	74	
3275–3280	46	
3301–3304	42	
3301–3304	42	
3301–3304	21	
3284–3289	33	
3284–3289	32	
3284–3289	1	
3465–3468	14	
3465–3468	11	
3465–3468	10	
3465–3468	23	
3468–3471	32	
3645–3648	40	
4109–4112	13	
4109–4112	25	
4116–4120	16	
4334–4338	4	
4371–4338	6	

Таблица 1. Продолжение

Интервал, м	Содержание эпидота, мас. %	Источник данных (геологические отчеты)
Бобровская-1 (кровля рифея 2020 м; кровля фундамента 2964.5 м; забой 2991 м)		
2045–2055	2	Еремина В.М. Геологический отчет о результатах бурения Бобровской параметрической скважины № 1 в Нюксеницком районе Вологодской области. Ярославль: ЯНГР, 1974. Определение содержаний эпидота: минералоги Савинова В.А., Десятов В.М. (ЯНГР).
2045–2055	1	
2277–2292	34	
2277–2292	37	
2365–2377	33	
Великий Устюг (кровля рифея 2340 м; кровля фундамента 3001 м; забой 3017 м)		
2949–2952	89	Еремина В.М. Геологический отчет о результатах бурения Велико-Устюгской параметрической скважины в Великоустюгском районе Вологодской области. Ярославль: ЯНГР, 1974. Определение содержаний эпидота: минералоги Савинова В.А., Десятов В.М. (ЯНГР).
2949–2952	73	
2949–2952	80	
2949–2952	95	
2949–2952	77	
2952–2956	86	
2952–2956	80	
2952–2956	98	
2952–2956	93	
2952–2956	1	
2952–2956	88	
2956–2962	90	
2956–2962	66	
2956–2962	75	
2956–2962	58	
2956–2962	79	
2956–2962	52	
2956–2962	60	
2956–2962	95	
2956–2962	82	
2963–2966	99	
2963–2966	96	
2973–2977	63	
2973–2977	37	
2977–2984	22	
2977–2984	42	
2977–2984	40	
2985–2992	2	
2985–2992	30	
2985–2992	14	
2985–2992	3	

Примечание. Расчетные лабораторные значения содержаний эпидота округлены до целых величин. При построении диаграмм (см. рис. 1) значения относились к серединам интервалов отробования.

При этом, на контактах с кварцем и плагиоклазом в эпидоте отмечены извилистые границы (см. рис. 3а, в). Такое взаимоотношение свидетельствует о следующем порядке кристаллизации: роговая обманка + биотит – эпидот – кварц + полевой шпат.

Помимо эпидота новообразованным минералом в бластомилонитах является сфен. Как правило, он образует скопления кристаллов по периферии амфиболов, но нередко представлен и отдельными ромбовидными кристаллами. Иногда

сфен расположен в непосредственной близости от новообразованных кристаллов эпидота (см. рис. 3д).

Эти наблюдения позволили, определив изотопный U-Pb возраст сфена (1750 ± 10 млн лет), датировать время динамометаморфизма, приведшего к появлению бластомилонитов. Примечательно, что изотопная метка сфена совпала с конкордией, что однозначно свидетельствует о новообразованной природе минерала [Чамов и др., 2010].

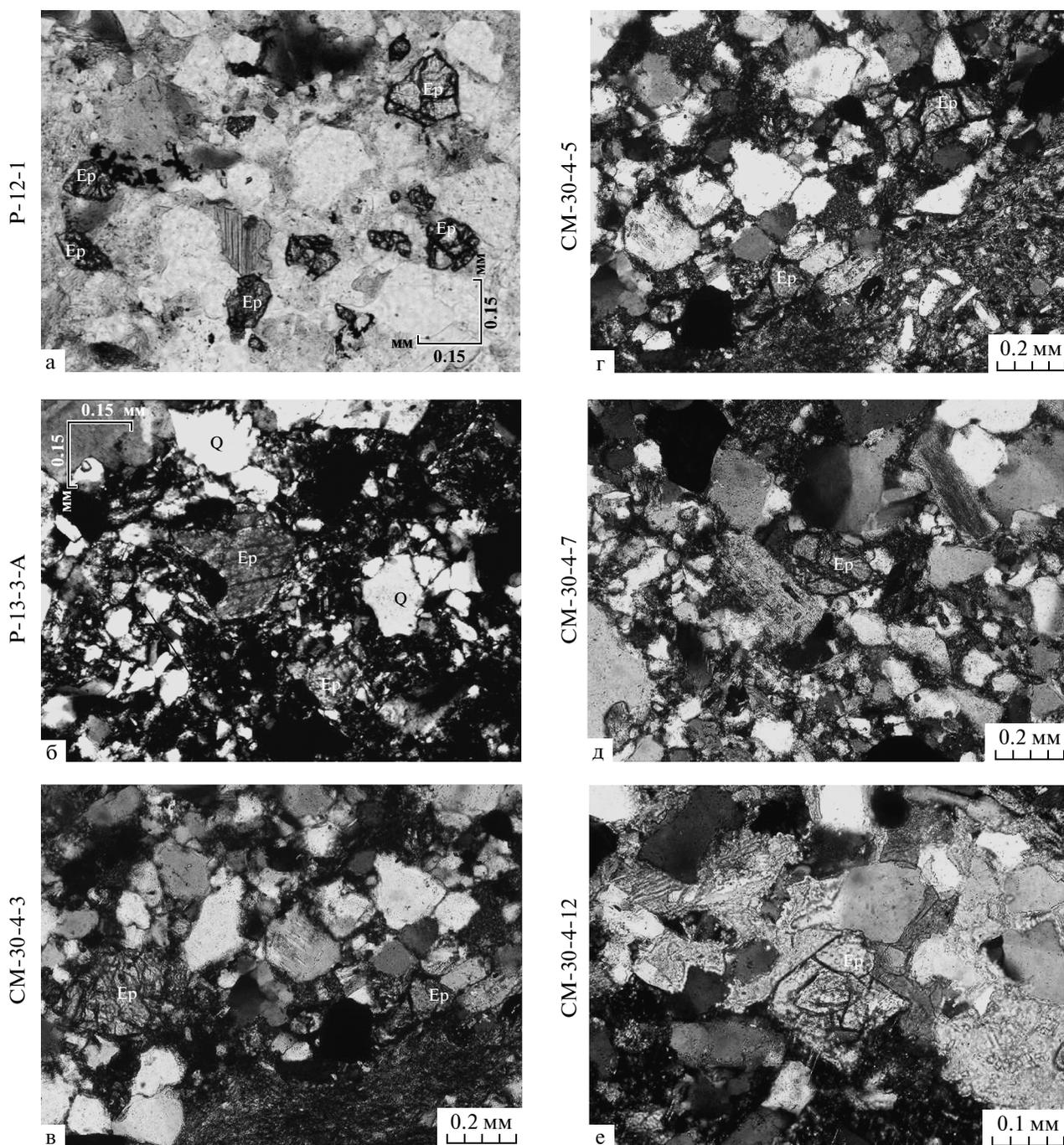


Рис. 2. Зерна эпидота (Ep) в прозрачных шлифах песчаников сероцветной толщи молоковской серии (Молоковский грабен).

а, б — южный борт, скважина P-1; в–е — центральная часть грабена, Северо-Молоковская скважина. Николи скрещены за исключением (а).

Химический состав зерен эпидота

Для проверки предположения о связи обломочного эпидота в песчаниках молоковской серии с эпидотом в бластомилонитах фундамента был сопоставлен химический состав минералов.

Из метаморфических пород были отобраны свежие идиоморфные прозрачные, бледно-зеле-

ные кристаллы эпидота; из тяжелой фракции осадочных пород — зерна песчаной размерности (0.1–0.25 мм) с формой, близкой к идиоморфной, и оптическими показателями, сходными с таковыми в кристаллах из метаморфических пород. Химический состав зерен определен в открытых шлифах на микрозонде CAMEBAX. Анализ каж-

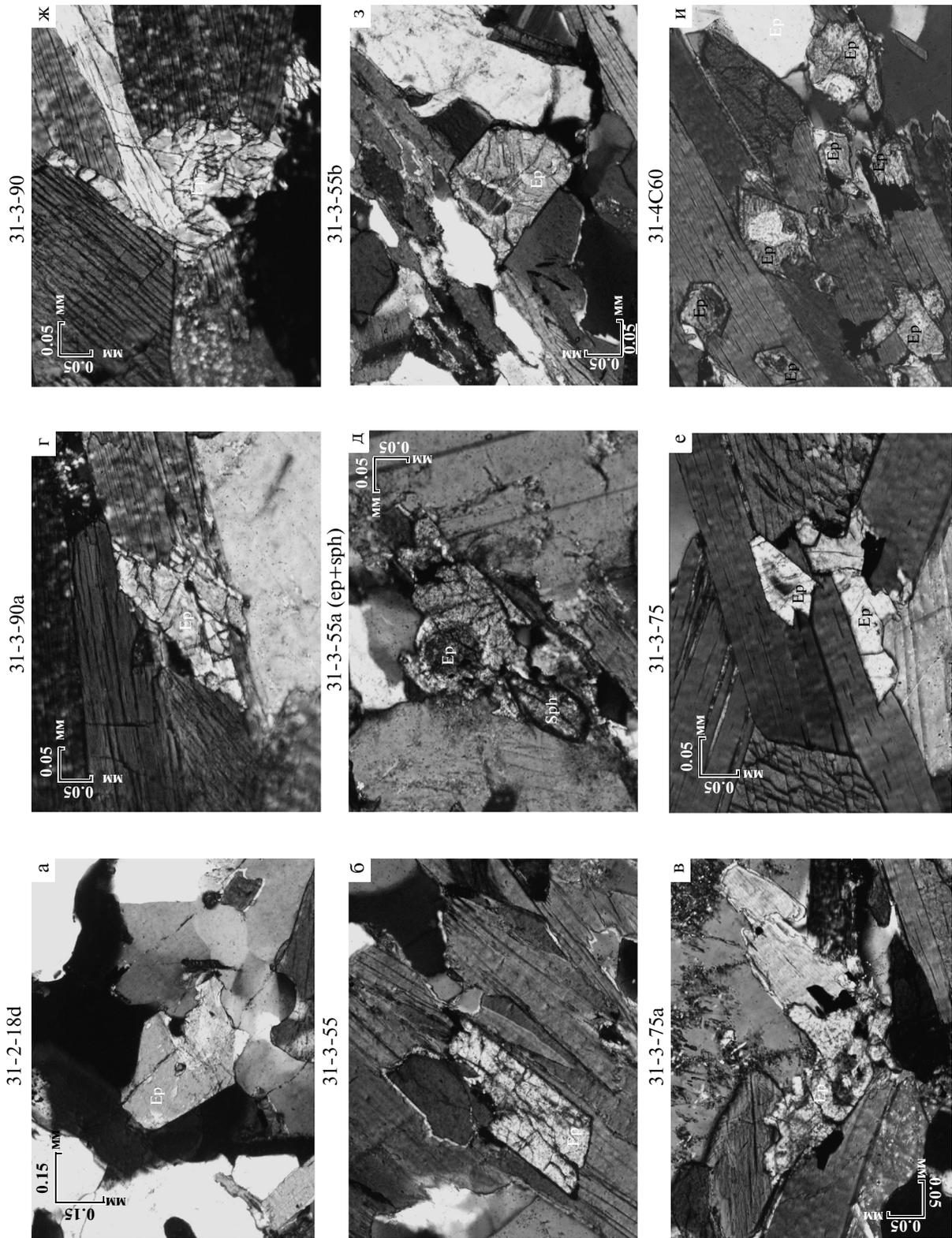


Рис. 3. Эпидот (Ep) и сфен (Sph) в шлифах бластомилонитов серии тектонического меланжа (Молоковский грабен).

Таблица 2. Химический состав эпидота (мас. %) и кристаллохимические коэффициенты (ф.е.)

Оксид	Песчаники						Бластомилониты		
	интервал 3157–3164 м						интервал 3157–3164 м		
	СМ 30/4, 90-100			СМ 31/2, 0-10			СМ 31/3, 50-55		
	Зерна эпидота						Кристаллы эпидота		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
SiO ₂	38.73	38.77	38.66	38.38	38.44	38.45	38.89	38.61	38.96
Al ₂ O ₃	23.34	24.35	23.93	24.58	24.33	23.61	23.87	24.35	24.10
FeO	13.40	11.82	12.86	11.83	12.74	13.20	11.86	12.04	12.08
MnO	0.16	0.14	0.11	0.12	0.34	0.12	0.13	0.21	0.17
MgO	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.02
CaO	22.79	22.81	22.73	22.76	22.58	22.73	22.82	23.05	23.02
Сумма	98.43	97.89	98.29	97.67	98.43	98.11	97.57	98.26	98.35
Формульные единицы									
Si	3.01	3.00	3.00	2.98	2.98	2.99	3.02	2.99	3.01
Al	2.14	2.22	2.19	2.25	2.22	2.17	2.19	2.22	2.19
Fe	0.87	0.77	0.83	0.77	0.82	0.86	0.77	0.78	0.78
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Mg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca	1.90	1.89	1.89	1.89	1.87	1.9	1.9	1.91	1.9
Ps	28.95	25.62	27.61	25.46	27.09	28.41	26.07	25.97	26.24

Примечание. Анализы выполнены в ГИН РАН на электронно-зондовом микроанализаторе CAMEBAX, аналитик Г.В. Карпова. Значения нормализованы на O = 12, OH = 1.

дого зерна эпидота производился в трех произвольно выбранных точках – на краю и в центре зерна. Результаты микронзондового химического анализа и расчеты формульных единиц приведены в табл. 2.

Согласно рекомендуемой номенклатуре минералов группы эпидота [Амбрустер и др., 2006], которая базируется на детальной кристаллохимической формуле $(A1A2)_2(M1M2M3)_3[Si_2O_7][SiO_4](O4)(O10)$, заселенности катионами позиций A_n , M_n и добавочными анионами позиций O4, O10, рассматриваемые нами минеральные виды эпидота относятся к подгруппе клиноцоизита. Ключевыми являются валентности: $A1 = M^{2+}$, $A2 = M^{2+}$ и $M3 = M^{3+}$, где $A1 = Ca$, $A2 = Al$, $M3 = Fe^{3+}$.

Важным критерием для определения генезиса эпидота является пистацитовый компонент, величина которого отражает термодинамические условия его образования: [Dawes, Evans, 1991; Schmidt, Thompson, 1996; Tulloch, 1979; Прибавкин и др., 2010]. Более высокое значение компонента характерно для магматического эпидота.

Результаты изучения содержаний пистацитового компонента в кристаллах эпидота из бластомилонитов и зернах обломочного эпидота представ-

лены в табл. 2 и на рис. 4. Видно, что зерна характеризуются наибольшим разбросом содержаний этого компонента, хотя поля значений в пределах имеющейся выборки перекрываются. И кристаллы и зерна содержат 25–30% пистацитового компонента, что характерно для вторичного эпидота, образующего псевдоморфозы по биотиту и амфиболу [Смирнов, Зинькова, 1993; Прибавкин и др., 2010; Dawes, Evans, 1991; Tulloch, 1979].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как следует из приведенных выше данных, существенное обогащение тяжелой фракции песчанников обломочным эпидотом не отражается на составе и относительном содержании в них основных породообразующих компонентов. Это, в сочетании со свежим обликом обломков, свидетельствует о существовании в непосредственной близости от области накопления осадков локального источника, активность которого в разных грабенах проявлялась по-разному. Сравнительный анализ кристаллов и зерен эпидота не противоречит предположению о возможном его поступлении в песчаники чехла из бластомилонитов фундамента.

Рассмотрим условия, при которых палеопротерозойские эпидот-содержащие метаморфические породы могли оказываться в зоне размыва и становиться локальными источниками обломочного материала для неопротерозойского выполнения грабенов.

Сбросовая природа грабенов определяет появление при их заложении асимметричного пространства аккомодации, в котором породы сброшенного блока образуют наклонное в сторону сброса днище, а поверхность сместителя — крутой борт, породы которого и оказываются ближайшим для грабена локальным источником обломочного материала. Поскольку, как было показано выше, грабены являются структурами фундамента, источником специфической кластики могли стать только входящие в его состав богатые эпидотом blastsмилониты.

Необходимо определить формы залегания blastsмилонитов среди пород фундамента и предложить сценарии их вывода в область размыва, согласующиеся с наблюдаемыми закономерностями размещения эпидотовых интервалов в осадочном разрезе.

Формы залегания blastsмилонитов

Впервые в составе фундамента Среднерусского авлакогена blastsмилониты идентифицировал Ю.Б. Коновальцев [Чамов и др., 2010; Чамов, 2013]. По данным КМПВ он установил наличие отдельных пластов мощностью около 400 м с аномально низкими (5–5.7 км/с) скоростями продольных волн. Один из таких пластов был выявлен в основании Молоковского грабена, где в дальнейшем бурением на глубину около 350 м были вскрыты мигматизированные амфиболиты, мигматиты (эндербиты) и blastsмилониты серии тектонического меланжа. В южном лежачем борту Молоковского грабена метод КМПВ не обнаруживает низкоскоростной преломленной волны, что свидетельствует об отсутствии аномального пласта или о резком сокращении его мощности в результате эрозии.

Анализ кернов буровых скважин показывает, что исходными породами для blastsмилонитов служили мигматиты, которые макроскопически выглядят как типичные представители гранитоидного ряда. Blastsмилониты обволакивают массивные мигматитовые блоки, причем между этими породами наблюдаются постепенные переходы: гнейсовидные текстуры исчезают (вырождаются) по мере проникновения blastsмилонитов в глубь массивных пород. Директивные структуры в blastsмилонитах обладают широким спектром углов падения относительно осей кернов — от пологих до субвертикальных.

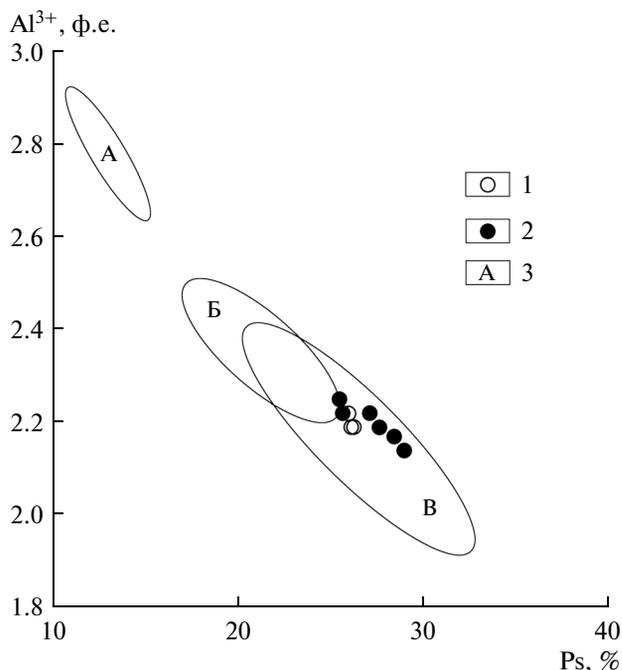


Рис. 4. Диаграмма пистацитовый компонент — Al³⁺.

1 — эпидот в blastsмилонитах; 2 — эпидот в осадках; 3 — поля характерных значений (по [Tulloch, 1979; Evans, Vance, 1987; Dawes, Evans, 1991; Смирнов, Зинькова, 1993; Прибавкин и др., 2009]): А — эпидот и клиноцоизит по плагиоклазу, В — порфиоровые вкрапленники эпидота, В — эпидот по биотиту и амфиболу.

По валовому химическому составу мигматиты и blastsмилониты относятся к породам гранитоидного ряда, связанным с коллизионными процессами. На геодинамической диаграмме $6Ca + 2Mg + 2Al - 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$ [Batchelor, Bowden, 1985] фигуративные точки составов этих пород образуют плотное непрерывное “облако”, вытянутое от поля доплитной коллизии к полю постколлизионного поднятия [Чамов и др., 2010]. Поскольку внутри “облака” (на этой и других диаграммах) точки составов пород перекрываются и не обнаруживают какого-либо тренда при переходе от мигматитов к blastsмилонитам, можно предположить изохимический характер процессов динамометаморфизма, приведших к blastsмилонитизации.

Генетическая природа blastsмилонитов

Полученные данные позволяют выявить ряд главных закономерностей в строении и структурном положении blastsмилонитов. К важнейшим относятся единство химического состава и пространственная неразрывность мигматитов и blastsмилонитов. Наличие аномальных пластов, сложенных blastsмилонитами, свидетельствует о существовании в прошлом значительных по амплитуде сдвиговых перемещений в коре.

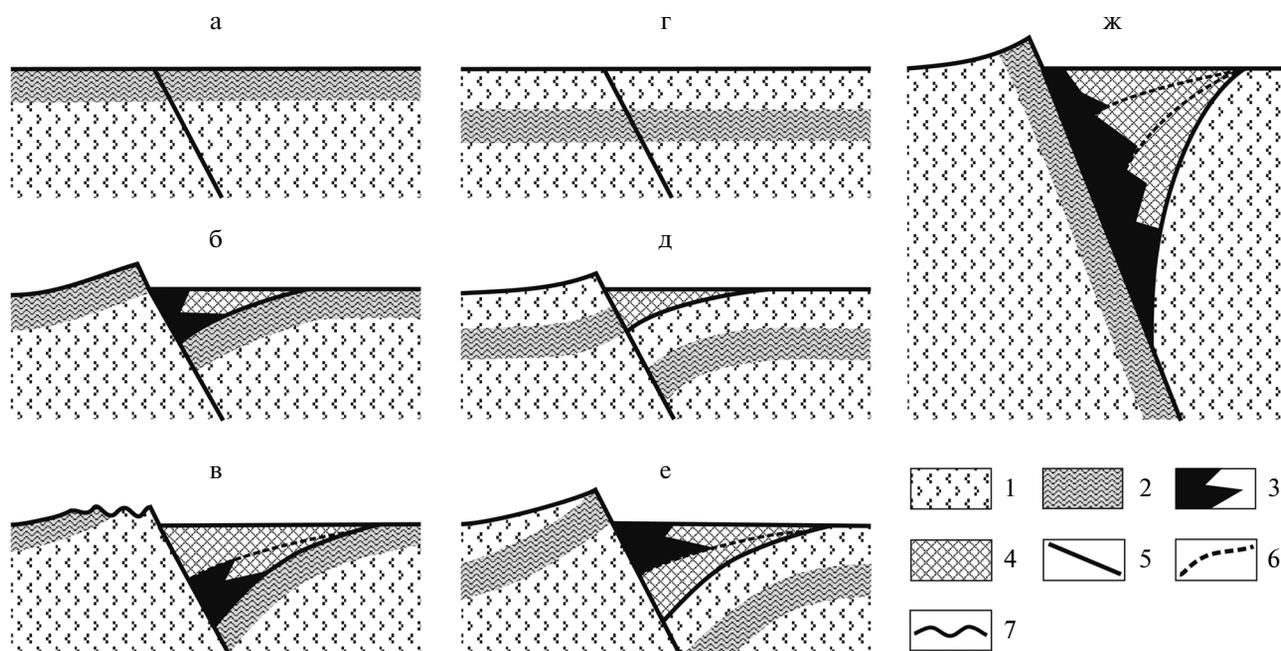


Рис. 5. Модели формирования грабенов и соответствующие типы интервалов с повышенным содержанием эпидота: а–в – молоковский, г–е – бобровский, ж – рослятинский.

1, 2 – фундамент, 1 – амфиболиты и мигматиты, 2 – бластомилониты с кристаллическим эпидотом; 3 – обломочный эпидот из бластомилонитов в тяжелой фракции песчаников; 4 – аркозовые осадки из внешнего источника; 5 – сбросы; 6 – промежуточные поверхности дна грабена; 7 – эрозионные границы.

Существующие данные позволяют связать эти движения с постколлизийным выравниванием внутрикоровых неоднородностей, возникших в результате плавления и мигматизации амфиболитов [Чамов, 2005, 2013]. Появление на глубине среди плотных ($\geq 3.0 \text{ г/см}^3$) амфиболитов и гранулитов пород гранитоидного ряда плотностью порядка 2.9 г/см^3 провоцирует восходящее движение последних. Наложение на этот процесс сдвиговых деформаций, связанных, в частности, с распадом коллизийного сооружения, приводит к появлению характерных комплексов пород, известных как комплексы метаморфического ядра (МСС – metamorphic core complex). Собственно ядро слагают мигматиты, а их внешнее обрамление, находящееся в зоне наибольших динамических напряжений (зона срыва или детачмент) на границе различных по компетентности тектонических пластин, за счет динамического метаморфизма в условиях частичного плавления превращается в бластомилониты.

На формирование бластомилонитов в комплексе пород метаморфического ядра указывают наблюдаемые в шлифах минеральные парагенезы, в которых эпидот ведет себя как поздний магматический минерал. Такие минеральные ассоциации установлены в меловых-третичных гранитоидах кордильерского хинтерленда [Zen,

Hammarstrom, 1984] – тектонотипической области развития МСС [Coney, Harms, 1984 и др.].

Сложенные бластомилонитами аномальные пласты рассматриваются нами как реликты породных ассоциаций зон срыва (детачментов), сформированных на границе тектонических пластин [Чамов, 2005, 2013]. Как следует из изотопного возраста бластомилонитов, процессы эти имели место в палеопротерозое и относятся к тектонической предистории становления Среднерусского авлакогена. К моменту заложения в неопротерозое грабенов авлакогена, в течение значительного интервала геологического времени в объеме мезопротерозоя, палеопротерозойские постколлизийные процессы полностью завершились, и внутренняя структура фундамента, вероятно, осложненная также и более поздними локальными деформациями, была полностью сформирована.

Рассмотрим возможное влияние внутренней структуры фундамента на строение и характер седиментации в неопротерозойских грабенах авлакогена.

Зависимость размещения эпидотовых интервалов от характера залегания бластомилонитовых пластов

Закономерности положения в осадочном разрезе обогащенных эпидотом интервалов можно

объяснить соотношением элементов залегания сместителей неопротерозойских сбросов и палеопротерозойских бластомилонитовых пластов.

Молоковский тип интервалов, отражающий поступление в осадки эпидота вслед за образованием грабена и его прекращение во времени, формируется при изначально пологом приповерхностном залегании бластомилонитового пласта (рис. 5а). Сброшенная часть пласта становится днищем грабена, другая — выводится в область эрозии в результате изостатического воздымания лежащего плеча (см. рис. 5б). Последующее развитие грабена приводит к захоронению погруженной части пласта, дальнейшему воздыманию лежащего плеча, прогрессивной эрозии и выходу верхнего фрагмента бластомилонитового пласта из области влияния на растущий грабен (см. рис. 5в).

Бобровский тип интервалов, характеризующийся поступлением эпидота из локального источника на поздних стадиях развития грабена, обусловлен заглубленным положением бластомилонитового пласта к моменту заложения сброса (см. рис. 5г). В этом случае в основании грабена залегают породы верхней пластины (амфиболиты и плагиоклазиты). Последующее углубление грабена сопровождается его компенсацией осадками без обогащения продуктами разрушения бластомилонитового пласта (см. рис. 5д), влияние которого проявляется на поздних стадиях роста грабена (см. рис. 5е).

В ряде случаев пласт бластомилонитов не достигает области размыва и обогащения эпидотом осадков не происходит. Возможно, этим обусловлено отсутствие (не выявление) “эпидотовых интервалов” в разрезе скв. Болгоевская (см. рис. 1). Но необходимо учитывать, что пройдена она в бортовой части грабена, и полный разрез бассейна может быть сходен со смежным разрезом, вскрытым Северо-Молоковской скважиной.

Рослятинский тип интервалов, где обогащение эпидотом характерно для всей осадочной толщи, формируется в случае крутого залегания бластомилонитового пласта и развития сброса по его падению (см. рис. 5ж). Углубление бассейна при сопутствующем воздымании лежащего плеча не только не приводит к изоляции бластомилонитового пласта, а, напротив, постоянно стимулирует интенсивное поступление эпидота из этого локального источника.

Зависимость геометрии грабенов и фациального состава осадков от характера залегания бластомилонитовых пластов

Соотношения элементов залегания сместителей неопротерозойских сбросов и палеопротерозойских бластомилонитовых пластов определяли не только появление локальных источников об-

ломочного материала, но также влияли на структурную эволюцию бассейнов и фациальную организацию осадочных комплексов.

При секущих сбросах, особенно в случаях полого залегания бластомилонитовых пластов, формировались грабены с реологически обусловленным пределом погружения (молоковский тип). Начиная с некоторой глубины, дальнейшему погружению пород гранитоидного состава с плотностью около 2.9 г/см^3 в более плотный ($\geq 3 \text{ г/см}^3$) амфиболитовый субстрат начинали препятствовать силы изостатического выравнивания.

Если растягивающие напряжения в регионе сохранялись и продолжали воздействовать на грабены после достижения ими предела погружения, то дальнейшее развитие структур шло за счет их латерального расширения, что приводило к накоплению регрессивных осадочных последовательностей с переходом от озерных к аллювиально-пролювиальным отложениям.

Энергетически более выгодное развитие сбросов вдоль бластомилонитовых пластов (рослятинский тип) не нарушало изостатического равновесия и приводило к развитию узких глубоких грабенов, в которых обстановки седиментации радикально не изменялись со временем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вариации локальных тектонических условий определили индивидуальный характер развития грабенов Среднерусского авлакогена. При общем сходстве процессов, определённых региональным полем напряжений, каждый из грабенов являлся самостоятельной тектоно-седиментационной системой, что отражено в структурной организации пространства аккомодации и фациальном составе выполняющих его осадочных комплексов.

Наиболее ярко влияние локальной тектоники проявилось в неодновременном и разном по характеру и интенсивности резком обогащении (35–95%) некоторых интервалов осадочного разреза остроугольными зёрнами эпидота.

Ряд признаков (относительная нестойкость эпидота в зоне гипергенеза, неокатанность и свежий облик обломков, отсутствие связи между привнесом эпидота и содержанием основных породообразующих компонентов) указывает на формирование эпидотовых аномалий за счет локальных источников. Анализ возможных геодинамических механизмов развития Среднерусского авлакогена, структуры образующих его грабенов, строения и состава верхней части консолидированной коры позволил предположить, что источником специфической кластики являлись обогащенные эпидотом бластомилониты, присутствующие среди метаморфических пород фундамента в виде аномальных по петро-геофизическим

свойствам пластов. Сопоставление кристаллов и зерен эпидота из бластомилонитов и осадков подтвердил такое предположение. Действительно кристаллы и зерна эпидота имеют сходный габитус, размеры, оптические характеристики и содержат 25–30% пистацитового компонента, что характерно для вторичного эпидота, образующего псевдоморфозы по биотиту и амфиболу в условиях частичного плавления пород.

Закономерности положения в осадочном разрезе обогащенных эпидотом интервалов отражают характер вывода бластомилонитов в область размыва. Влияние локального источника кластики и, соответственно, положение в осадочном разрезе интервалов обогащения эпидотом, определялись соотношением элементов залегания сместителей неопротерозойских сбросов и палеопротерозойских бластомилонитовых пластов. Этот же фактор влиял на фациальный состав осадочных комплексов и структурную эволюцию бассейнов седиментации.

При секущих сбросах, особенно в случаях полного залегания бластомилонитовых пластов, формировались грабены с реологически обусловленным пределом погружения (молоковский тип). Здесь погружение пород гранитоидного состава в более плотный амфиболитовый субстрат ограничивалось силами изостатического выравнивания. При неизменном региональном поле напряжений после достижения предела погружения грабены этого типа испытывали латеральное расширение, что приводило к накоплению регрессивных осадочных последовательностей с переходом от озерных к аллювиально-пролювиальным отложениям. Для этого типа грабенов характерно одноактное проявление локального источника кластики независимо от стадии развития структуры.

Энергетически более выгодное развитие сбросов вдоль бластомилонитовых пластов (рослятинский тип) не нарушало законов изостазии и приводило к образованию узких глубоких грабенов, в которых обстановки седиментации радикально не изменялись со временем. При этом углубление грабена не только не приводило к изоляции бластомилонитового пласта, а, напротив, постоянно стимулировало интенсивное поступление эпидота из локального источника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Амбрустер Т., Бонацци П., Акасака М. и др.* Рекомендательная номенклатура минералов группы эпидота (краткая информация) // ЗРМО. 2006. № 6. С. 19–23.
- Прибавкин С.В., Авдоница И.С., Главатских С.П.* Состав и внутреннее строение вкрапленников магматического эпидота из андезитов и дацитов, Средний Урал // ЕЖЕГОДНИК-2009. Петрология, геохимия // Тр. ИГГ УрО РАН. 2010. Вып. 157. С. 168–172.
- Смирнов В.Н., Зинькова Е.А.* Магматический эпидот в гранитоидах Верхисетского массива (Средний Урал) // ДАН. 1993. Т. 329. № 3. С. 332–334.
- Чамов Н.П.* Тектоническая история и новая модель формирования Среднерусского авлакогена // Геотектоника. 2005. № 3. С. 3–22.
- Чамов Н.П., Костылева В.В., Вейс А.Ф.* Строение докембрийского осадочного чехла и верхней части фундамента Среднерусского авлакогена и Оршанской впадины (Восточно-Европейская платформа) // Литология и полез. ископаемые. 2010. № 1. С. 63–98.
- Чамов Н.П.* Тектоно-седиментационные системы: примеры и методический подход к исследованию // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2013а. Т. 88. Вып. 3. С. 3–20.
- Чамов Н.П.* Строение и развитие Среднерусско-Беломорской провинции в неопротерозое / Автореф. дис ... доктора геол.-мин. наук. М.: ГИН РАН, 2013б. 48 с.
- Batchelor R.A., Bowden P.* Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicratonic parameters // Chem. Geol. 1985. V. 48. P. 43–55.
- Coney P.J., Harms T.A.* Cordilleran metamorphic complexes: Cenozoic relics of Mesozoic compression // Geology. 1984. V. 12. P. 550–554.
- Zen E., Hammarstrom J.M.* Magmatic epidote and its petrologic significance // Geology. 1984. V. 12. P. 515–518.
- Dawes L., Evans W.* Mineralogy and geothermobarometry of magmatic epidote-bearing dikes, Front Range, Colorado // Geol. Soc. Amer. Bull. 1991. V. 103. № 8. P. 1017–1031.
- Schmidt M., Thompson A.* Epidote in calc-alkaline magmas; an experimental study of stability, phase relationships and the role of epidote in magmatic evolution // Amer. Miner. 1996. V. 81. P. 462–474.
- Tulloch A.J.* Implication of magmatic epidote-bearing plutons on crustal evolution in the accreted terranes of northwestern North America // Geology. 1979. V. 14. P. 187–188.
- Evans B.W., Vance J.A.* Epidote phenocrysts in dacitic dikes. Boulder contry, Colorado // Contrib. Mineral. Petrol. 1987. V. 96. P. 178–185.