

deposits of the southern regions of the Siberian Platform (Nepa-Botuoba Antecline and adjacent areas)]. Collected papers. *Vesti gazovoy nauki* – Bulletin of Gas Science, 2016, no. 1 (25). Available at: <http://www.vesti-gas.ru/sites/default/files/attachments/vgn-1-25-2016-040-062.pdf>

(accessed August 1, 2019). (In Russian).
5. Vozhov V.I. *Gidrogeologicheskie usloviya mestorozhdeniy nefti i gaza Sibirskoy platformy* [Hydrogeological conditions of oil and gas fields of the Siberian platform]. Moscow, Nedra, 1987. 204 p. (In Russian).

УДК 551.251

DOI: 10.24411/1728-5283-2020-10103

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ МЕТАМОРФИЗМА И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ САМАРСКОЙ ТОЛЩИ (ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОЕ ПОДНЯТИЕ)*

© В.И. Сначев,

доктор геолого-минералогических наук,
профессор,
главный научный сотрудник,
Институт геологии,
Уфимский федеральный
исследовательский центр РАН,
ул. К. Маркса, 16/2,
450077, г. Уфа, Российская
Федерация,
e-mail: SAVant@inbox.ru

В статье приводится описание геологического строения самарской толщи, развитой в северном и западном обрамлении Челябинского гранитного массива (Восточно-Уральское поднятие) и узкой полосой протягивающейся в меридиональном направлении до широты Варламовского купола. В состав толщи входят филлиты, филлитовидные сланцы, метапесчаники, кварцитопесчаники, кварциты и метабазалты. Основные эффузивы отмечены только в нижней ее части. Контакты с нижележащими образованиями тектонические, а с вышележащими – несогласные. Нижнерифейский возраст толщи принят в соответствии с Южно-Уральской серийной легендой, надежных радиологических данных до настоящего времени по ней не получено.

На основе изучения гранат-биотитового парагенезиса, всесторонне исследованного экспериментально и широко представленного в породах самарской толщи в южной части рассматриваемой территории, получены температура и давление метаморфизма ($T = 450\text{--}470^\circ\text{C}$, $P = 2.0\text{--}2.7$ кбар), что соответствует условиям эпидот-амфиболитовой фации и абиссальной зоне глубинности (7–9 км).

Рассмотрение петрохимических особенностей метабазалтов позволило реконструировать палеогеодинамические условия их образования. Это умеренномагнезиальные, высокотитанистые, низкокалийевые породы, которые относятся к толеитовой и реже субщелочной сериям. На диаграммах идентификации палеообстановок $\text{TiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$ и $\text{TiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ высокотитанистые их разновидности отвечают базальтам эпиплатформенных континентальных рифтов, а низкотитанистые – срединно-океанических хребтов. По распределению РЗЭ метабазалты толщи идентичны основным эффузивам бичурской свиты и сопоставимы с траппами Челябинского грабена.

Можно предположить, что самарская толща сформировалась в раннерифейское время в обстановке эпиплатформенного континентального рифтогенеза. В дальнейшем ее отложения испытали региональный метаморфизм в условиях зеле-

* Работа выполнена в рамках государственного задания, тема №0246-2019-0078

Самарская толща (RF₁?sm) выделена Н.С. Кузнецовым (ОАО «Челябинскгеосъемка») в 1995 году при проведении ГДП-50. Она распространена в пределах Восточно-Уральского поднятия, в северном и западном обрамлении Челябинского плутона (лис-

ты М 1:200 000: N-41-I, Кыштым; N-41-II, Кунашак; N-41-VII, Миасс и N-41-VIII, Челябинск) (рис. 1). По данным геолого-съемочных работ, участником которых был и автор данной статьи, толща сложена филлитами и филлитовидными сланцами, метапесчаниками, кварцитопесчаниками, кварцитами и метабазами с редкими прослоями углеродистых сланцев. Филлиты, филлитовые сланцы, полимиктовые метапесчаники и мелкие тела метабазальтов залегают в нижней части толщи, среднюю маркирующую пачку слагают светлые кварцевые песчаники, верхнюю – переслаивающиеся blastoalevritовые и blastopsammitовые сланцы. Породы обнажены в долине р. Зюзелги и вскрыты скважинами. Контакты с нижележащими образованиями тектонические, а с вышележащими – несогласные. Наиболее представительный разрез толщи детально изучен западнее листа N-41-VIII по скважинам. Мощность самарской толщи составляет более 1500 м.

Филлиты и филлитовидные сланцы состоят из хлорита и серицита (25–50%) и тонкого глинисто-полевошпатового материала (25–65%). Тонкая полосчатость пород обусловлена линзовидными слойками гематита и хлорита мощностью от долей миллиметра до 1–2 мм. Акцессорные минералы – турмалин, ставролит, циркон, сфен, апатит; рудные – лейкоксен и магнетит. Метапесчаники имеют массивные и сланцеватые текстуры и

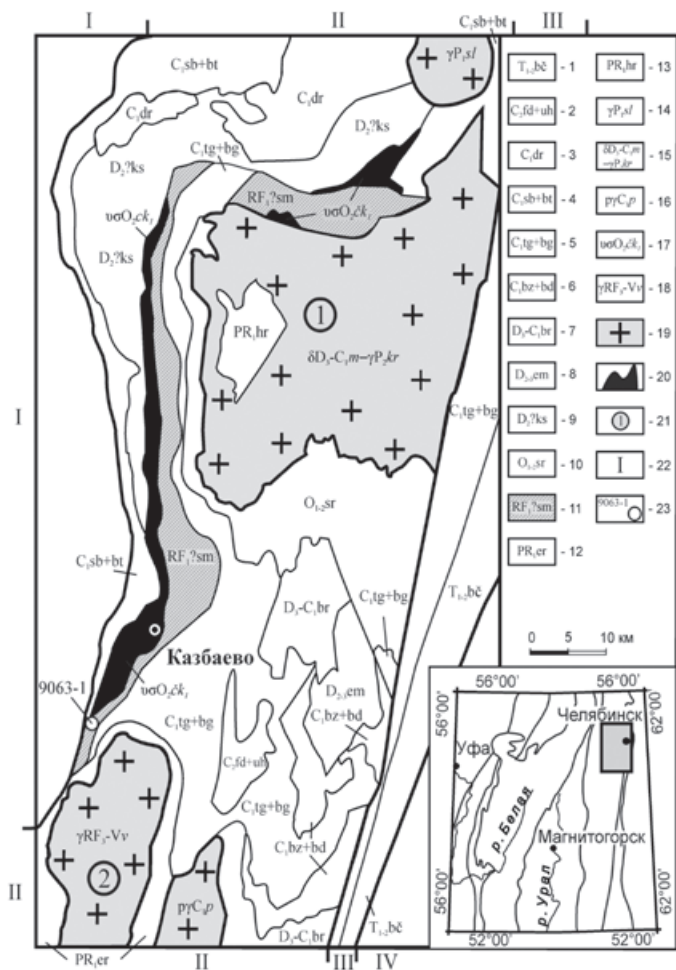


Рис. 1. Схема геологического строения северной части Восточно-Уральской мегазоны (составлена на основе геологической карты М: 1:1000 000, авторы Б.А. Пужаков и др., издана в 2013 году) Условные обозначения: 1 – бичурская свита (базальты, трахибазальты); 2 – дербишевская толща (ксенотуфы, туфы базальтов, андезибазальтов); 3 – федоровская и ухаповская толщи объединенные (известняки, углеродистые известняки, песчаники); 4 – соболевская и баязитовская толщи объединенные (полимиктовые песчаники, конгломераты, гравелиты, алевролиты); 5 – тугундинская и биргильдинская толщи объединенные (полимиктовые песчаники, конгломераты, гравелиты); 6 – березиновская толща и брединская свита объединенные (ксенотуфы, туфы базальтов, андезибазальтов); 7 – березняковская толща (ксенотуфы, туфы андезитов, андезидацитов, дацитов); 8 – еманжелинская толща (песчаники, алевролиты, аргиллиты); 9 – касаргинская толща (базальты, дациты, риолиты;

туфы базальтов, дацитов); 10 – саргазинская толща (базальты, андезибазальты, риолиты); 11 – самарская толща (филлиты, филлитовидные сланцы, метапесчаники, кварциты и метабазаьты с редкими прослоями углеродистых сланцев); 12 – еремкинская толща (гранат-биотитовые плагиогнейсы, амфиболиты, кварциты); 13 – харлушинская толща (гнейсы, плагиогнейсы биотитовые, амфиболиты); 14 – султаевский комплекс (граниты, реже граносиениты, гранодиориты); 15 – Челябинский многофазный массив: марииновский комплекс (диориты, плагиогранит) – кременкульский комплекс (граниты, лейкограниты); 16 – пластовский комплекс (тоналиты, плагиограниты); 17 – чебаркульско-казбаевский комплекс (габбро, дуниты, гарцбургиты); 18 – варламовский комплекс (гранито-гнейсы, мигматиты); 19 – гранитоидные массивы; 20 – гипербазиты; 21 – номера массивов: 1 – Челябинский, 2 – Варламовский; 22 – структурно-формационные зоны: I – Арамилско-Сухтелинская, II – Восточно-Уральская, III – Челябинский грабен, IV – Зауральская; 23 – точка отбора пробы

для граната — пироп, андрадит и гроссуляр). Их формулы рассчитывались по известной методике И.Д. Борнеман-Старынкевич [1], а затем с помощью диаграммы фазового соответствия магнезиальностей парагенезиса биотит-гранат [2, 3] получены температуры и оценена глубина формирования пород. Следует отметить, что составы трех пар биотитов и гранатов (альмандин-спессартиново-

го ряда) почти ничем не отличаются друг от друга.

Обратимся к рис. 2, на котором в координатах $X_{Mg} = Mg / (Mg+Fe+Mn)$ (значения мольных долей компонентов в биотите и гранате) вынесены точки составов для трех пар указанных метаморфических минералов. Как видим, все ассоциации образуют единое поле. Температуры их образования составля-

Таблица 1 – Состав биотита (Bi) и граната (Gr) пород самарской толщи (мас. %)

Минерал	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма	X _{Mg} ^{Bi,Gr}
Bi-1	38,52	1,82	18,86	17,52	0	0	12,17	0,28	9,07	98,26	0,55
Bi-2	38,64	1,84	18,86	16,91	0,30	0	12,74	0,25	8,95	98,49	0,57
Bi-3	38,61	1,52	18,63	17,15	0	0	12,46	0,33	9,25	97,96	0,56
Gr-1	37,26	0	20,88	19,71	16,55	4,30	1,51	0	0	100,21	0,07
Gr-2	37,29	0	21,21	19,48	17,11	3,73	1,65	0	0	100,46	0,07
Gr-3	37,02	0	21,27	18,81	16,92	3,74	1,75	0	0	99,52	0,08

Bi-1 – (K_{0,85}Na_{0,04})_{0,89}(Mg_{1,34}Fe_{1,08}Mn_{0,00}Ti_{0,10}Al_{0,48})₃(Si_{2,84}Al_{1,16})₄O₁₀[O_{0,41}(OH)_{1,59}]₂
 Bi-2 – (K_{0,84}Na_{0,04})_{0,88}(Mg_{1,39}Fe_{1,03}Mn_{0,02}Ti_{0,10}Al_{0,46})₃(Si_{2,83}Al_{1,17})₄O₁₀[O_{0,37}(OH)_{1,63}]₂
 Bi-3 – (K_{0,87}Na_{0,05})_{0,92}(Mg_{1,37}Fe_{1,06}Mn_{0,00}Ti_{0,08}Al_{0,48})₃(Si_{2,86}Al_{1,14})₄O₁₀[O_{0,40}(OH)_{1,60}]₂
 Gr-1 – (Ca_{0,37}Fe_{1,33}Mg_{0,18}Mn_{1,13})_{3,01}Al_{1,99}Si₃O₁₂
 Gr-2 – (Ca_{0,32}Fe_{1,31}Mg_{0,20}Mn_{1,17})_{3,2}Al_{2,00}Si₃O₁₂
 Gr-3 – (Ca_{0,33}Fe_{1,27}Mg_{0,21}Mn_{1,16})_{3,03}Al₂Si₃O₁₂

Примечание – Bi-1 – (номер пробы 9063, номер анализа 18473a); Bi-2 – (9063, 18473b); Bi-3 – (9063, 18473c); Gr-1 – (9063, 18473e); Gr-2 – (9063, 18473f); Gr-3 – (9063, 18473g)

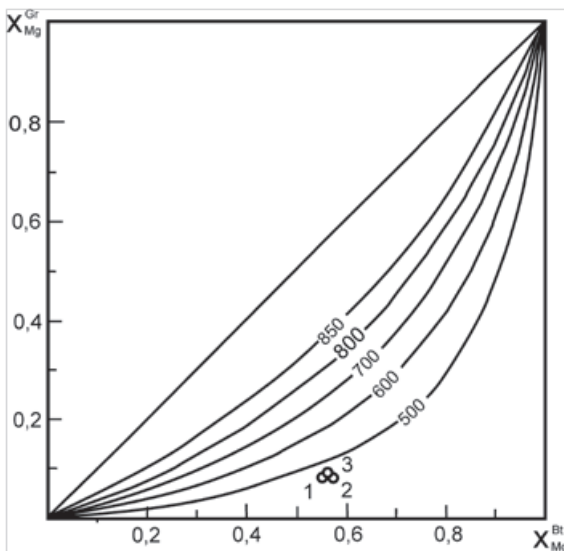


Рис. 2. Диаграмма фазового соответствия $X_{Mg}^{Gr} - X_{Mg}^{Bi}$ в породах самарской толщи [2]. 500–800 – изограды температур образования гранат-биотитовой ассоциации, °С
 Примечание – кружочки – биотит-гранатовые пары (см. табл. 1)

ют 450–470°С. Вместе с тем расчет давления по известной температуре и коэффициенту $\ln K$, где $K = X_{Mg}^{Gr} / X_{Mg}^{Bi}$ [3] показал его значения в 2.0–2.7 кбара (рис. 3), что соответствует глубине 7–9 км (абиссальная зона). Если вынести указанные данные на схему фаций регионального метаморфизма (рис. 4), то приходим к выводу, что породы самарской толщи в позднерифейско-вендское время [4] в период становления Варламовского гранитно-гнейсового массива испытали метаморфизм в условиях эпидот-амфиболитовой фации. Учитывая тот факт, что среди рассматриваемых отложений отмечены редкие прослои углеродистых сланцев, можно предположить наличие в них золоторудной минерализации [5–7]. Примечательно, что согласно рис. 4, на котором показаны поля устойчивости кианита, андалузита, силлиманита, а также ставролита, в минеральной

ассоциации с биотитом и гранатом отмечен андалузит (верхний предел по давлению – 5 кбар). Согласно В.В. Федькину [8], в породах с избытком K_2O , SiO_2 и Al_2O_3 , к числу которых относятся образования самарской толщи, поле устойчивости ставролита ограничено температурами 475–625°C и давлением 2–10 кбар. Для рассматриваемых нами пород ставролит является вполне устойчивым метаморфическим минералом.

Другой задачей данной статьи является установление геодинамических условий формирования пород самарской толщи, реконструкция которых наиболее достоверно осуществляется на основе петрохимических особенностей metabазальтов, приведенных в таблице 2. Как это следует из рис. 5, рассматриваемые породы представлены исключительно толеитовыми или субщелочными разновидностями. Ни одна проба не попала в

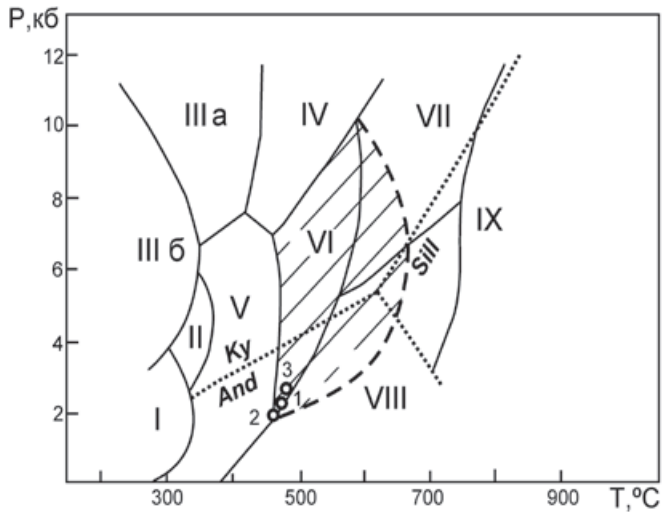


Рис. 4. Положение гранат-биотитовых пар (см. табл. 1) пород самарской толщи на петрогенетической диаграмме [3]

Примечание – сплошные линии – границы фаций, заштрихованное поле – поле устойчивости ставролита, точками показана тройная диаграмма And-Sill-Ky. Римскими цифрами обозначены фации: I – цеолитовая или пумпеллиит-пренитовая, II – пумпеллиит-актинолитовая, IIIa – глаукофан-лавсонитовая, IIIб – глаукофан-цоизитовая, IV – цоизит-кианит-кварцевых сланцев, V – зеленых сланцев, VI – эпидотовых амфиболитов, VII – альмандиновых амфиболитов, VIII – куммингтонитовых амфиболитов, IX – гранулитовая

известково-щелочное поле. Кроме того, хорошо видно, что все субщелочные metabазальты находятся близ границы раздела полей.

Составы основных эффузивов самарской толщи на диаграммах $al' - TiO_2$, где $al' - Al_2O_3 / (FeO + Fe_2O_3 + MgO)$, и $TiO_2 - (Na_2O + K_2O)$ [9] располагаются следующим образом: относительно высокотитанистые породы приурочены к области эпиплатформенных континентальных рифтов, а низкотитанистые – к участку ее пересечения с полем срединно-океанических хребтов. Для более точной реконструкции геодинамических условий образования metabазальтов обратимся к редкоземельным элементам. Средние их значения для выборки из 20 проб, проанализированных нейтронно-активационным методом в ГЕОХИ (аналитик Д.Ю. Сапожников), составили (в г/т): La – 28,6; Ce – 47,8; Sm – 5,7; Eu – 2,15; Yb – 3,77; Lu – 0,39, что указывает на высокую степень дифференциации концентраций легких и тяжелых РЗЭ. Нормированные к хондриту [10] содержания

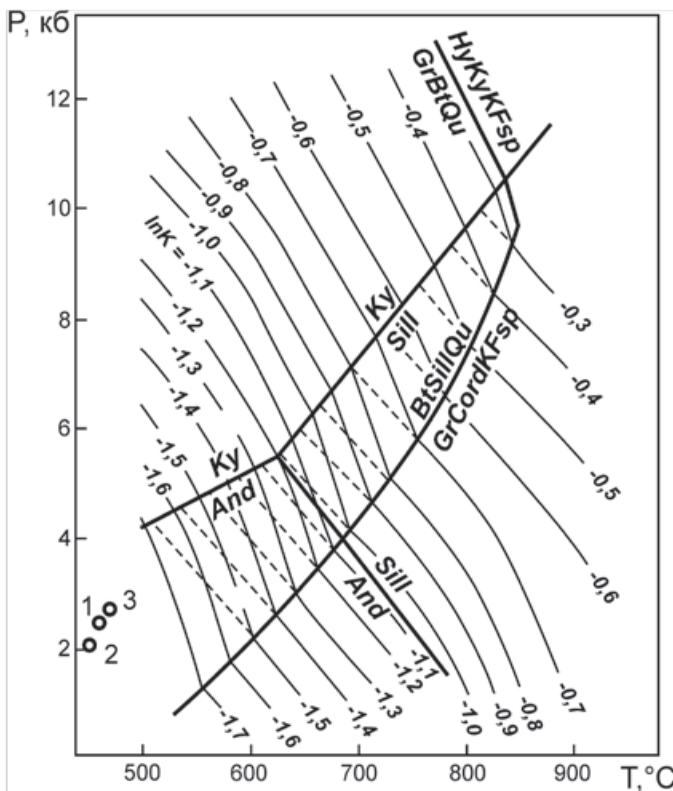


Рис. 3. Диаграмма P-T для определения давления по T и InK в породах самарской толщи (точки 1–3, см. табл. 1) [3]

Примечание – поля минералов: And – андалузит, Ky – кианит, Sill – силлиманит, Bi – биотит, Gr – гранат, Cord – кордиерит, KFsp – калиевый полевошпат, Qu – кварц, Nu – гиперстен

Таблица 2 – Химический состав базальтов и их туфов листа N-41-II

№ п/п	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	nnn	Сумма
1	47,67	1,80	13,27	7,71	7,77	0,18	5,72	12,31	1,38	0,16	0,19	2,14	100,30
2	49,86	1,68	13,82	4,81	8,20	0,12	6,22	9,20	2,76	0,24	0,13	2,44	99,48
3	50,67	1,80	11,98	5,32	9,24	0,10	5,63	9,86	3,12	0,25	0,11	1,50	99,58
4	51,44	0,99	17,42	4,88	6,46	0,14	4,54	7,52	3,84	1,12	0,22	2,47	101,04
5	48,38	1,50	12,40	5,88	8,73	0,21	7,67	11,32	0,84	0,09	0,09	2,40	99,51
6	48,00	2,06	13,67	6,89	7,22	0,23	4,78	12,05	2,40	0,16	0,17	2,80	100,43
7	46,76	1,08	16,77	3,11	5,46	0,14	9,15	9,72	2,91	0,54	0,09	3,92	99,65
8	48,10	1,60	14,24	4,37	6,92	0,16	6,86	10,42	3,00	0,12	0,15	3,16	99,10
9	48,86	2,06	13,67	5,11	8,05	0,17	5,38	10,91	2,60	0,18	0,16	2,06	99,21
10	48,30	1,72	13,13	5,51	7,66	0,34	6,29	10,15	3,65	0,14	0,13	2,56	99,58
11	44,84	1,85	14,86	5,19	6,23	0,14	8,27	11,20	2,81	0,29	0,195	3,64	99,52

Примечание – анализы принадлежат геолого-съёмочной партии ОАО «Челябинскгеосъемка»

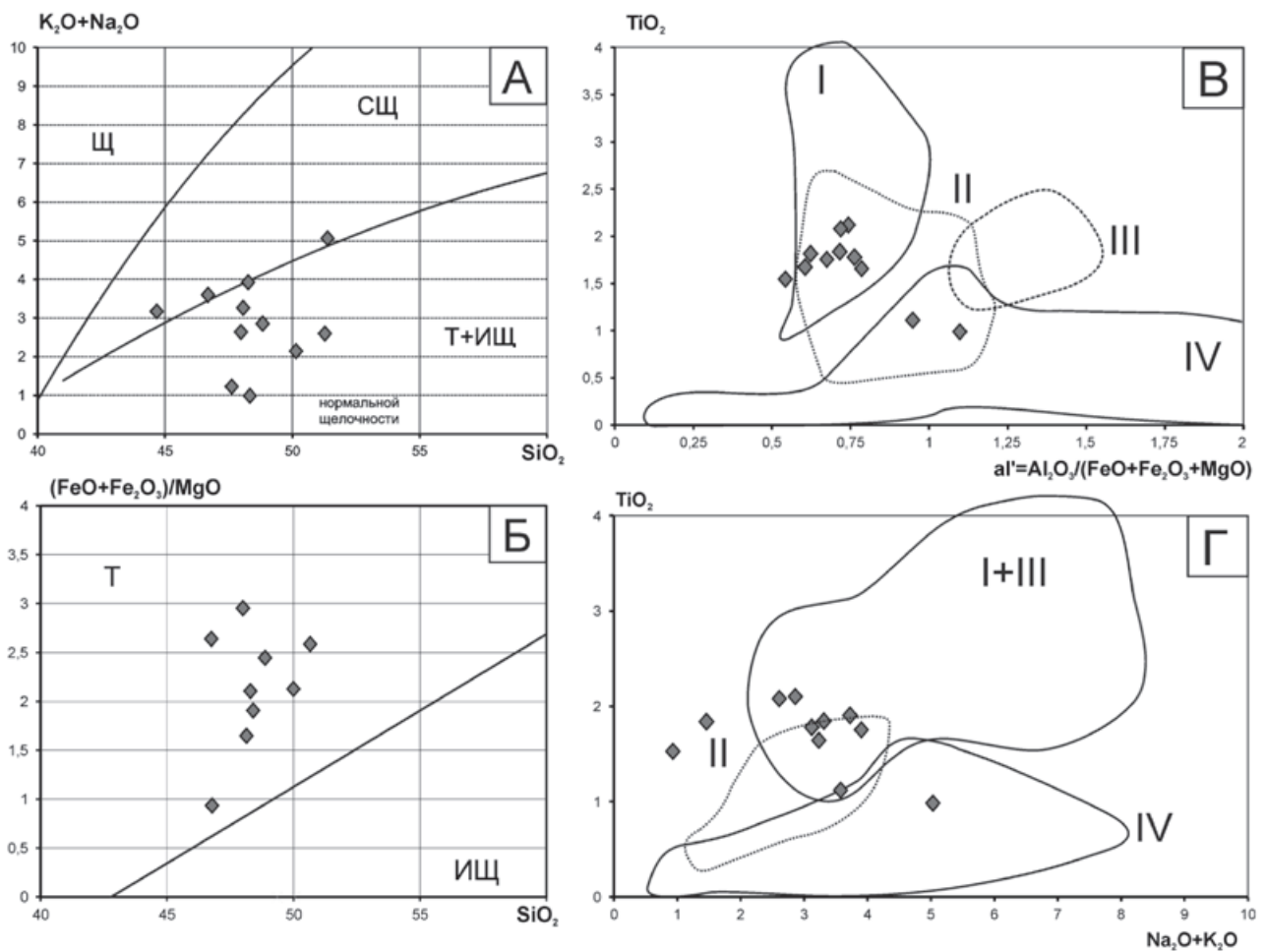


Рис. 5. Диаграммы SiO₂ – (Na₂O+K₂O) (А), SiO₂ – (FeO+Fe₂O₃)/MgO (Б), al' – TiO₂ (В) и TiO₂ – (Na₂O+K₂O) (Г) для метабазальтов самарской толщи

Примечание – поля составов базальтов по [9] для диаграмм В и Г: I – эпиплатформенных континентальных рифтов, II – срединно-океанических хребтов, III – эпигоренных континентальных рифтов, IV – островных дуг

- seychuk V.M., Snachev A.V., Shiyanova A.A., Rykus M.V. Rudonosnost uglerodistykh otlozheniy severnoy poloviny Mayardakskogo i Yamantauskogo antiklinoriyev [Ore content of carbonaceous deposits in the northern half of the Mayardak and Yamantau anticlinoria]. Geologicheskii sbornik – Geological Collection, IG UNTs RAN, Ufa, 2007, no. 6, pp. 227–232. (In Russian).
7. Rykus M.V., Snachev V.I., Kuznetsov N.S., Saveleyev D.E., Bazhin E.A., Snachev A.V. Rudonosnost dunit-gartsburgitovoy i chernoslantsevoy formatsiy pogranichnoy zony mezhdru Yuzhnym i Srednim Uralom [Ore mineralization of the dunite-harzburgite and black shale formations of the border zone between the Southern and Middle Urals]. Neftegazovoye delo – Oil and Gas Business, 2009, vol. 7, no. 2, pp. 17–27. (In Russian).
8. Fedkin V.V. Stavrolit [Staurolite]. Moscow, Nauka, 1975. 250 p. (In Russian).
9. Snachev V.I. Petrogeokhimicheskie osobennosti

- i paleogeodinamicheskie usloviya formirovaniya bazaltov Zauralskogo podnyatiya (Yuzhnyy Ural) [Petrogeochemical peculiarities and paleogeodynamic conditions for the basalt genesis in the Trans-Ural uplift (South Urals)]. Vestnik AN RB – Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, 2018, no. 1, pp. 48–56. (In Russian).
10. Balashov Yu.A. Geokhimiya redkozemelnykh elementov [Geochemistry of rare earth elements]. Moscow, Nauka, 1976. 267 p. (In Russian).
11. Geodinamicheskie rekonstruktsii [Geodynamic reconstructions]. V.A. Unksov (ed.). Leningrad, Nedra, 1989. 278 p. (In Russian).
12. Demin Yu.I., Snachev V.I. Teplovyye polya Akhunovskogo granitnogo massiva i zakonmernosti razmeshcheniya v nikh orudneniya [Thermal fields of the Akhunovo granite massif and their mineralization patterns]. Doklady Akademii nauk SSSR – Proceedings of the USSR Academy of Sciences, 1981, vol. 261, no. 1, pp. 152–156. (In Russian).

УДК 553.98

DOI: 10.24411/1728-5283-2020-10104

АНАЛИЗ СВЯЗНОСТИ КОЛЛЕКТОРА В УСЛОВИЯХ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

© С.И. Коновалова,

кандидат физико-математических наук, главный специалист, РН-БашНИПИнефть, Ленина, 86/1, 450103, Уфа, Российская Федерация, e-mail: KonovalovaSI@bnipti.rosneft.ru

© Р.В. Байгузин,

специалист, РН-БашНИПИнефть, Ленина, 86/1, 450103, Уфа, Российская Федерация, e-mail: BaiguzinRV@bnipti.rosneft.ru

© Ю.Б. Линд,

ученый секретарь, РН-БашНИПИнефть, Ленина, 86/1, 450103, Уфа, Российская Федерация, e-mail: LindUB@bnipti.rosneft.ru

Детальное трехмерное геолого-гидродинамическое моделирование залежей углеводородов необходимо для комплексного учета геолого-геофизической и промышленной информации при проектировании разработки месторождений. Важной задачей при этом является снижение влияния неопределенности исходных данных и параметров геологического моделирования на принятие проектных решений.

В работе анализируется влияние параметров многовариантного стохастического геологического моделирования и изменчивости исходных данных на гидродинамическую связность коллекторов. Для оценки неопределенностей в распределении коллекторов и влияния параметров геологического моделирования предлагается использовать коэффициент литологической связности, представляющий собой отношение порового объема наибольшего перколяционного кластера к общему поровому объему ячеек в модели. Предложенный алгоритм исследования связности коллектора без построения гидродинамической модели может быть применен для оценки неоднородности распределения фильтрационно-емкостных свойств коллектора в межскважинном пространстве и прогноза показателей разработки в неразбуренных районах залежей.

Для учета вертикальной неоднородности коллекторов