

Вестник Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 1946 г.

Серия 4

ГЕОЛОГИЯ

№ 1 • 2024 • ЯНВАРЬ–ФЕВРАЛЬ

Издательство Московского университета

Выходит один раз в два месяца

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Подображных А.Д., Еремина Т.А., Марченко Е.И., Еремин Н.Н.</i> Кристаллохимические индикаторы выделения оксоцентрированных полиэдров в минералах двухвалентного свинца	3
<i>Зыков Д.С., Полещук А.В., Агибалов А.О., Колодяжный С.Ю., Мануилова Е.А.</i> Форма соляных поднятий как индикатор взаимодействия геодинамических систем	13
<i>Барaboшкин Е.Ю., Фокин П.А.</i> Уникальная находка аммонита <i>Kamerunoceras</i> (Acanthoceratidae, Ammonoidea) в туроне (верхний мел) Юго-Западного Крыма	20
<i>Меренкова С.И., Пузик А.Ю., Афонин И.В., Медведков А.А., Рабцевич Е.С., Габдуллин Р.Р., Пугач В.В.</i> Условия формирования пород эвенкийской свиты в долине нижнего течения р. Подкаменная Тунгуска, Сибирская платформа	25
<i>Юрина А.Л.</i> Первые девонские леса на Земле: появление, состав растений, типы лесных экосистем и их распространение	38
<i>Крупина Н.И., Присяжная А.А.</i> Монографические палеонтологические коллекции — важнейший источник информации в палеонтологических исследованиях	47
<i>Сыромятников К.В., Левитан М.А., Габдуллин Р.Р.</i> Палеоклиматические и палеогеографические реконструкции условий седиментации в Фушуньском бассейне методами математической статистики	55
<i>Богатырева И.Я., Коточкова Ю.А., Балушкина Н.С., Хотылев О.В., Фомина М.М., Тюрина Н.А., Яблоновский Б.И., Калмыков Г.А.</i> Структурно-фациальная типизация разрезов баженовской высокоуглеродистой формации Западно-Сибирского бассейна	66
<i>Чуркина В.В., Коточкова Ю.А., Калмыков Г.А.</i> Обстановки осадконакопления апт-альбских отложений Северного Каспия	83
<i>Гусарова Д.С., Яблонская Д.А., Липатникова О.А., Лубкова Т.Н., Филатова О.Р.</i> Геохимическая и санитарно-химическая характеристика вод родников Богородского и Лосино-Петровского городских округов Московской области	95
<i>Лехов А.В.</i> Определение проводимости верхней зоны выветривания горизонтально-слоистого массива скальных пород	105
<i>Мотенко Р.Г., Давлетова Р.Р., Гречищева Э.С., Алексеев А.А.</i> Экспериментальная оценка влияния заторфованности на фазовый состав воды в мерзлых грунтах различного гранулометрического состава	116
<i>Миринец А.К., Рыбалко А.Е., Алёшин М.И., Субетто Д.А.</i> Строение четвертичного покрова Петрозаводской губы Онежского озера по данным сейсмоакустики	123
<i>Степанов П.Ю., Гоманюк Ю.А.</i> Вариационные алгоритмы глубинной кинематической миграции в двумерных средах с горизонтальным градиентом скорости	130

CONTENTS

<i>Podobrazhnykh A.D., Eremina T.A., Marchenko E.I., Eremin N.N.</i> Crystal chemical indicators of oxo-centered tetrahedra establishment in divalent lead minerals	3
<i>Zykov D.S., Poleshchuk A.V., Agibalov A.O., Kolodyazhny S.Y., Manuilova E.A.</i> Form of salt rises as an indicator of interaction of geodynamic systems	13
<i>Baraboshkin E.Yu., Fokin P.A.</i> A unique find of the ammonite <i>Kamerunoceras</i> (Acanthoceratidae, Ammonoidea) in the Turonian (Upper Cretaceous) of the South-Western Crimea ...	20
<i>Merenkova S.I., Puzik A.Yu., Afonin I.V., Medvedkov A.A., Rabceovich E.S., Gabdullin R.R., Pugach V.V.</i> The Formation Conditions of the Evenki Formation in the Lower Reaches of the Podkamennaya Tunguska River	25
<i>Yurina A.L.</i> The first Devonian forests on Earth; appearance, composition of plants, types of forest and their distribution	38
<i>Krupina N.I., Prisyazhnaya A.A.</i> Monographic paleontological collections — important source of information in paleontological research	47
<i>Syromyatnikov K.V., Levitan M.A., Gabdullin R.R.</i> Paleoclimatic and paleogeographic reconstructions of sedimentation conditions in the Fuxin basin using methods of mathematical statistics	55
<i>Bogatyрева I.Ya., Kotochkova Yu.A., Balushkina N.S., Khotylev O.V., Fomina M.M., Tyurina N.A., Yablonovskiy B.I., Kalmykov G.A.</i> Structural-facies typizations of the bazhenov high-carbon formation of the West Siberian Basin	66
<i>Churkina V.V., Kotochkova Yu.A., Kalmykov G.A.</i> Sedimentation conditions of the lower cretaceous deposits of the Northern Caspian	83
<i>Gusarova D.S., Yablonskaya D.A., Lipatnikova O.A., Lubkova T.N., Filatova O.R.</i> Geochemical and sanitary-chemical characteristics of water springs of Bogorodsky and Losin-Petrovsky districts of the Moscow region	95
<i>Lekhov A.V.</i> Upper weathered zone transmissivity estimation of hard-rock horizontally layered massif	105
<i>Motenko R.G., Davletova R.R., Grechishcheva E.S., Alekseev A.G.</i> Experimental evaluation of the effect of congestion on the phase composition of water in frozen soils of various granulometric composition	116
<i>Mirinets A.K., Rybalko A.E., Aleshin M.I., Subetto D.A.</i> The structure of the Quaternary sheet in the Petrozavodsk Bay of Lake Onega according to seismoacoustics	123
<i>Stepanov P.Yu., Gomanyuk Yu.A.</i> Variational algorithms of deep kinematic migration in two-dimensional media with horizontal velocity gradient	130

УДК 550.8.01: 550.85

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2024-63-1-55-65

ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ УСЛОВИЙ СЕДИМЕНТАЦИИ В ФУШУНЬСКОМ БАССЕЙНЕ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

Кирилл Владимирович Сыромятников¹✉, Михаил Аркадьевич Левитан²,
Руслан Рустемович Габдуллин³

¹ Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН. 119991, Москва, Россия; sykirv@gmail.com ✉, <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0001-8798-4425>

² Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН. 119991, Москва, Россия; m-levitan@mail.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН. Москва, Россия; gabdullin@geokhi.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8296-7191>

Аннотация. В статье с помощью методов математической статистики установлена взаимосвязь климатических изменений и условий седиментации для 4-х стадий накопления фусинской и шахайской угленосных формаций Фушуньского угольного бассейна в апт-альбское время. В результате было отмечено, что увеличение влажности климата совпало с широко распространенным аноксическим океаническим событием Паке (Paquie, OAE1b) в раннеальбское время. Кроме того, выявлено существенное влияние фациальных условий на интенсивность процессов торфо- и угленакопления фусинской и шахайской угленосных формаций.

Активизации процессов торфонакопления и углеобразования способствовали увеличение влажности климата, активизация сноса обломочного материала, понижение уровня воды в пресноводных водоемах Фушуньского бассейна.

Ключевые слова: Фушуньский угольный бассейн, раннемеловой период, угленосные отложения, фации, регрессионный анализ, дисперсионный анализ, корреляционный анализ

Финансирование. Участие К.В. Сыромятникова и М.А. Левитана осуществлялось при финансовой поддержке госзаказа ГЕОХИ РАН. Участие Р.Р. Габдуллина осуществлялось при финансовой поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Математические методы анализа сложных систем».

Для цитирования: Сыромятников К.В., Левитан М.А., Габдуллин Р.Р. Палеоклиматические и палеогеографические реконструкции условий седиментации в Фушуньском бассейне методами математической статистики // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2024. № 1. С. 55–65.

PALEOCLIMATIC AND PALEO GEOGRAPHIC RECONSTRUCTIONS OF SEDIMENTATION CONDITIONS IN THE FUXIN BASIN USING METHODS OF MATHEMATICAL STATISTICS

Kirill V. Syromyatnikov¹, Michail A. Levitan², Ruslan R. Gabdullin³

¹ Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia; sykirv@gmail.com

² Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia; m-levitan@mail.ru

³ Lomonosov Moscow State University; Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia; gabdullin@geokhi.ru

Abstract. In the paper, the relationship between climatic changes and sedimentation conditions for 4 accumulation stages of the Fuxin and Shapai coal-bearing formations of the Fuxin coal basin in the Aptian-Albian time was established using mathematical statistical methods. As a result, it was observed that the increase in climate humidity coincided with the widespread anoxic oceanic Paquie event (Paquie, OAE1b) during the early Albian time. In addition, a significant influence of facies conditions on the intensity of peat and coal accumulation processes of the Fuxin and Shapai coal-bearing formations was revealed.

Activation of peat accumulation and coal formation processes was promoted by increase of climate humidity, activation of clastic material supply, lowering of water level in freshwater reservoirs of the Fuxin basin.

Keywords: Fuxin coal basin, early Cretaceous period, coal deposits, facies, regression analysis, dispersion analysis, correlation analysis

For citation: Syromyatnikov K.V., Levitan M.A., Gabdullin R.R. Paleoclimatic and paleogeographic reconstructions of sedimentation conditions in the Fuxin basin using methods of mathematical statistics. *Moscow University Geol. Bull.* 2024; 1: (In Russ.).

Введение. Исследования, посвященные изменению палеоклимата в период формирования различных месторождений полезных ископаемых, являются весьма актуальными в практическом применении. Это позволяет на основе изучения климатических изменений в геологическом прошлом предсказывать условия формирования ряда полезных ископаемых в различных регионах. В данной статье с помощью методов математической статистики были изучены изменения палеоклимата и условия накопления фусинской и шахайской угленосных формаций Фушуньского угольного бассейна (КНР). Кроме того, проведена корреляция между отложениями, богатыми и обедненными угольными пластами. Работы с использованием статистических методов анализа успешно применялись нами в ряде исследований [Левитан, Сыромятников и др., 2014; Сыромятников, Левитан, 2021; Сыромятников, Габдуллин, 2022]. В результате проанализировано влияние климатических условий в апт-альбское время (ОАЕ1b) на процессы седиментации в Фушуньском угольном бассейне.

Изучению палеоклиматических условий угленосных формаций посвящено множество научных трудов, в одних детально рассмотрен петрографический и литологический состав угленосных отложений и предложена детальная литолого-фациальная классификация их формирования [Тимофеев, Боголюбова, 1998; Тимофеев, Боголюбова и др., 2002], в других на основе молекулярных и микроскопических исследований проведен анализ фитоценозов углей [Киселева, Рождествина и др., 2014]. В этих работах представлены богатые материалы по литологии, вещественному составу угленосных толщ, их палеогеографии, но статистические методы не использовались. В нашей статье на основании статистических методов анализов химического состава фусинской и шахайской формаций, приведенного в [Xu et al., 2020], проанализированы палеоклиматические изменения, происходившие в процессе их формирования в апт-альбское время. Кроме того, выделены химические группы, характеризующие изменения уровня воды в Фушуньском бассейне.

Вопросы, связанные с климатическими изменениями в меловой период времени, были детально рассмотрены в трудах ряда исследователей [Эволюция..., 1981; Найдин и др., 1986; Ясаманов, 1985; Jenkyns, 1999, 2003; Wang et al., 2014; Weissert, 1989; Weissert et al., 2019; Wilson, 2018]. Методы статистического анализа здесь также не применялись.

Материалы и методы исследований. Исходным материалом для написания статьи явились данные по геохимии двух скважин — DY1 и FY1, пробуренных на территории Фушуньского угольного бассейна [Xu et al., 2020] (рис. 1).

Фушуньский угольный бассейн — один из крупнейших угленосных внутриконтинентальных бассейнов северо-восточного Китая (провинция Ляонин). Следует отметить, что угольные пласты максимально развиты в нижнемеловой фусинской и редко встречаются в шахайской формации (рис. 1). Стратиграфия, палеогеография, эволюция бассейна и угленосные озерных угленосных толщ фусинской формации были исследованы на основе изучения разрезов обнажений, керны и каротажа скважин. В результате было выделено 15 типов литофаций, литология которых варьирует от конгломератов, песчаников, алевролитов, аргиллитов до углей. Литофации сгруппированы в пять фациальных типов: аллювиальные веерные, косые флювиальные, меандрирующие флювиальные, веерные дельтовые и озерные отложения [Xu et al., 2019].

С целью изучения палеоклиматических изменений и условий осадконакопления в Фушуньском угольном бассейне в апт-альбское время было необходимо решить три основные задачи: 1) на основе результатов корреляционного анализа с помощью построения матрицы Пирсона по методике, описанной [Берк, Кэйри, 2005], выделить химические группы оксидов, характеризующие палеоклиматические изменения в апт-альбское время; 2) изучить взаимосвязь между 2 выделенными химическими группами оксидов с помощью одномерного регрессионного анализа; 3) на основе установленной взаимосвязи между 2 химическими группами оксидов рассчитать индекс, характеризующий интенсивность терригенного осадконакопления в Фушуньском бассейне, и сравнить его распределение в пределах 4 стадий формирования фусинской и шахайской угленосных формаций [Xu et al., 2020] с величиной отношения гидролизатного модуля (ГМ) к сумме ($K_2O + Na_2O$) [Юдович, Кетрис, 2000, 2011]; при этом использовался однофакторный дисперсионный анализ.

Одномерный регрессионный и однофакторный дисперсионный анализы были выполнены в программе Statgraphics plus v.5.

Результаты исследований и их обсуждение. В результате построения корреляционной матрицы Пирсона на основе данных (табл. 1) удалось выделить две химические группы оксидов, коррелирую-

Рис. 1. А — Схематическая карта расположения Фушуньского угольного бассейна (северо-восточный Китай, провинция Ляонин) (Xu et al., 2020); Б — Литолого-стратиграфическая схема Фушуньского угольного бассейна: 1 — конгломераты; 2 — песчаные конгломераты; 3 — грубо- и крупнозернистые песчаники; 4 — среднезернистые песчаники; 5 — мелкозернистые песчаники; 6 — алевролиты; 7 — глинистые алевролиты; 8 — алевролитистые глины; 9 — аргиллиты; 10 — глинистые известняки; 11 — уголь; 12 — магматические породы; 13 — местные географические названия; 14 — скважины; 15 — разломы; 16 — Фушуньский угольный бассейн; 17 — Желтая река; 18 — суньцзяваньская формация; 19 — фусинская формация; 20 — шахайская формация; 21 — цзю-фотангская формация; 22 — ийксинская формация; 23 — презинская формация; 24 — магматические породы. В — Схематическая стратиграфическая шкала Фушуньского угольного бассейна: I, II, III, IV — подформации; А, В, С, D — стадии формирования шахайской и фусинской угольных формаций.

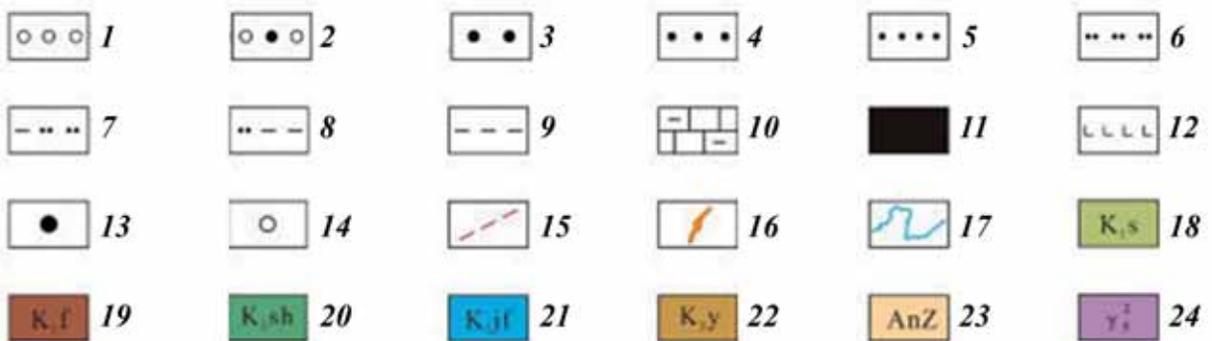
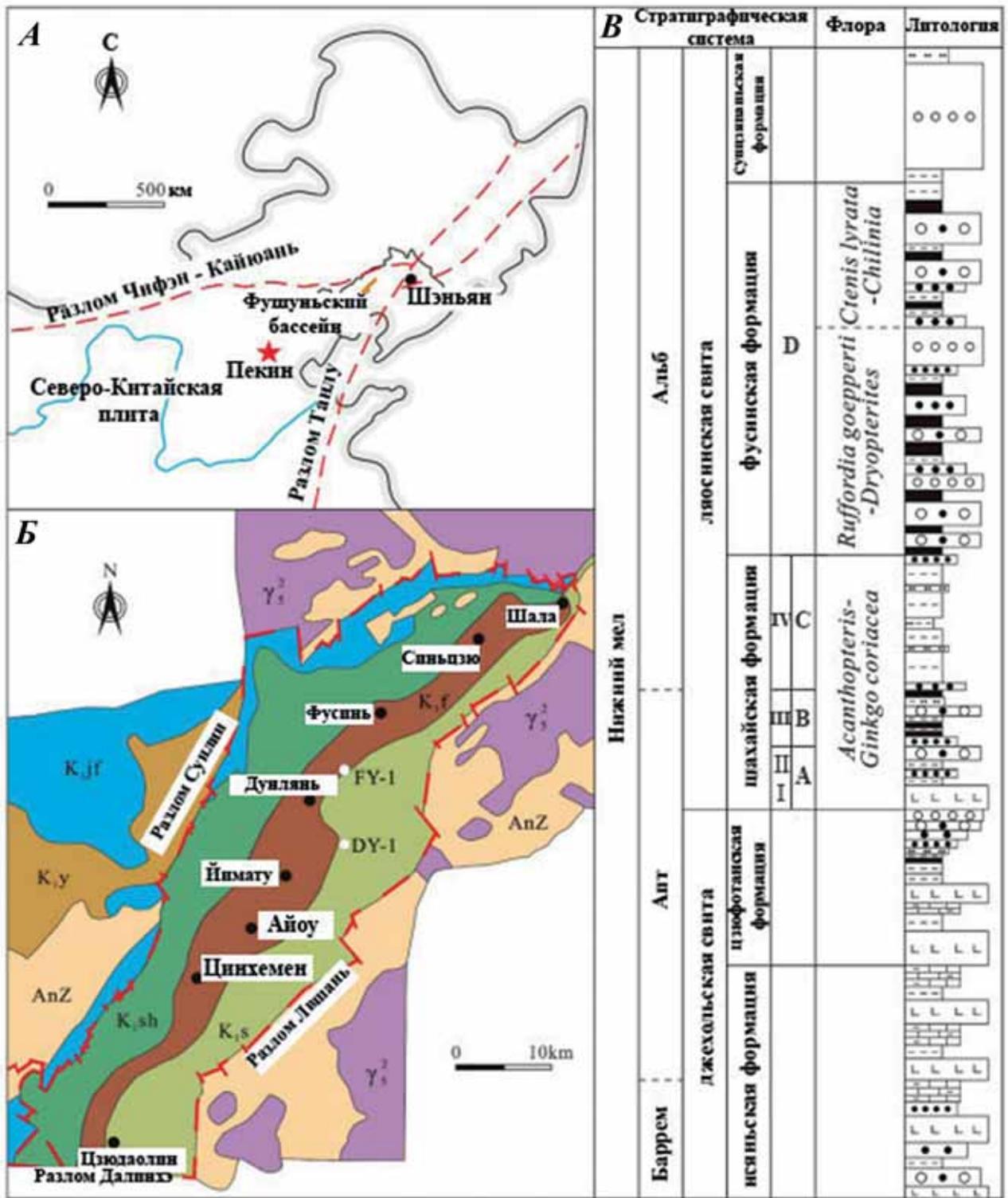


Таблица 1

Химический состав оксидов скважин DY1 и FY1 Фушуньского угольного бассейна

Глубина, м	SiO ₂ , %	TiO ₂ , %	Al ₂ O ₃ , %	Fe ₂ O ₃ , %	MnO, %	MgO, %	CaO, %	Na ₂ O, %	K ₂ O, %	P ₂ O ₅ , %	I _{итс}	I _{тк}	Стадии	Формации
Скважина DY1														
144	58,36	0,68	14,24	7,36	0,11	3,90	1,36	2,69	3,92	0,14	7,33	5,80	1	1
170	59,70	0,78	14,33	8,00	0,12	2,84	0,83	2,30	3,50	0,04	5,07	6,71	1	1
195	65,50	0,63	14,04	6,18	0,15	2,98	0,86	2,26	3,29	0,13	4,98	5,78	1	1
226	61,59	0,71	15,50	6,64	0,16	3,05	0,60	1,67	3,93	0,02	4,90	6,67	1	1
251	60,15	0,65	14,93	7,31	0,11	5,11	0,62	1,19	3,80	0,10	7,71	7,66	1	1
293	60,00	0,75	16,31	6,55	0,04	3,14	0,82	2,44	3,46	0,34	5,19	6,68	1	1
343	60,59	0,74	16,15	6,76	0,03	3,31	0,57	1,85	3,96	0,22	5,05	6,73	1	1
413	59,79	0,82	15,95	5,82	0,02	1,93	0,69	1,86	3,04	0,18	3,45	7,72	1	1
459	57,99	0,80	15,62	6,06	0,06	2,15	1,54	1,85	2,93	0,23	5,04	8,13	1	1
473	56,90	0,73	14,79	5,46	0,17	1,85	0,79	1,91	2,79	0,18	3,88	7,91	1	1
510	60,42	0,80	15,11	6,28	0,03	2,06	1,23	2,00	2,71	0,21	4,35	7,81	1	1
527	60,59	0,74	16,22	5,59	0,05	2,19	0,52	1,89	3,47	0,16	3,56	6,96	2	2
529	59,95	0,74	16,78	5,04	0,03	1,99	0,50	2,10	3,46	0,13	3,25	6,78	2	2
532	59,83	0,65	15,60	5,19	0,02	2,08	0,43	2,03	3,20	0,10	3,33	6,86	2	2
537	58,69	0,75	14,89	5,54	0,06	2,50	1,50	1,92	3,21	0,20	5,46	7,05	2	2
540	58,01	0,81	16,12	5,67	0,02	1,99	0,73	2,06	3,41	0,17	3,66	7,13	2	2
545	57,10	0,78	16,11	6,36	0,03	2,49	0,67	1,97	3,53	0,15	4,31	7,41	2	2
551	60,00	0,79	16,06	5,34	0,02	2,10	0,74	2,27	3,41	16,00	3,72	6,52	2	2
552	59,97	0,82	15,57	6,60	0,03	2,13	0,83	1,87	3,30	0,22	3,92	7,42	2	2
553	59,12	0,70	14,32	5,45	0,02	2,19	0,79	1,78	2,99	0,15	4,05	7,27	2	2
571	59,96	0,70	15,15	5,37	0,03	2,07	0,93	2,61	2,57	0,17	4,00	6,84	2	2
580	59,35	0,80	15,48	5,39	0,02	2,03	1,38	2,50	2,93	0,22	4,54	6,73	2	2
586	58,96	0,75	15,35	5,77	0,03	2,18	1,21	2,46	2,80	0,19	4,56	7,06	2	2
592	57,35	0,74	15,24	6,10	0,06	2,39	1,28	2,15	3,13	0,21	5,09	7,31	2	2
595	58,42	0,74	15,52	5,98	0,05	2,52	1,25	1,96	3,32	0,22	5,12	7,23	2	2
656	55,55	0,74	15,15	6,18	0,12	2,34	2,87	1,65	2,86	0,33	7,46	8,86	2	2
715	53,77	0,69	16,66	4,67	0,08	2,48	2,99	1,54	2,82	0,25	7,80	9,43	2	2
770	54,86	0,79	16,60	5,23	0,14	2,91	2,30	2,04	3,11	0,21	7,40	8,06	2	2
800	53,07	0,74	16,24	5,76	0,14	3,09	2,64	1,65	3,13	0,25	8,38	9,02	2	2
856	54,79	0,56	14,47	5,65	0,11	2,34	4,47	1,66	2,74	0,29	9,91	8,62	2	2
949	45,97	0,61	12,40	6,35	0,18	2,67	8,80	1,30	2,62	0,64	19,75	10,84	2	2
1000	50,62	0,65	14,24	5,32	0,11	2,85	7,08	1,60	2,79	0,23	15,33	9,14	2	2
1031	51,38	0,69	15,09	5,42	0,09	2,89	5,48	1,58	3,23	0,22	12,60	8,61	2	2
1081	54,22	0,72	16,35	6,15	0,09	3,03	2,59	2,08	3,45	0,22	8,01	7,77	2	2
1124	53,58	0,72	15,36	6,26	0,12	2,31	3,78	1,58	3,57	0,28	8,91	8,14	2	2
1124	53,58	0,72	15,36	6,26	0,12	2,31	3,78	1,58	3,57	0,28	8,91	8,14	2	2
1158	49,69	0,77	15,00	6,42	0,10	2,37	6,17	1,56	3,79	0,32	13,20	8,38	2	2
1176	57,00	0,76	15,95	6,53	0,06	2,68	1,61	1,68	3,65	0,20	5,90	7,67	2	2
1203	57,14	0,73	14,69	5,74	0,09	2,42	3,43	1,90	2,55	0,22	8,19	8,36	2	2
1248	58,22	0,84	17,28	4,42	0,09	1,96	2,02	1,33	4,07	0,26	5,33	7,20	2	2
1281	49,24	0,64	13,86	4,39	0,10	1,09	8,17	1,46	3,35	0,31	14,68	8,02	2	2
1322	61,82	0,83	16,51	4,40	0,07	1,67	1,93	1,69	3,59	0,24	4,64	6,68	3	2
1379	60,68	0,79	15,39	3,43	0,02	1,46	1,70	2,26	3,08	0,13	4,14	6,06	3	2
1496	55,71	0,84	19,02	4,15	0,04	1,92	1,45	1,41	4,75	0,17	4,51	7,01	3	2
1564	55,18	0,69	13,46	5,44	0,14	3,22	5,04	1,22	3,86	0,24	12,12	7,04	3	2
1578	52,20	0,59	11,99	4,96	0,13	3,06	7,53	0,89	3,46	0,42	16,55	7,78	3	2

Глубина, м	SiO ₂ , %	TiO ₂ , %	Al ₂ O ₃ , %	Fe ₂ O ₃ , %	MnO, %	MgO, %	CaO, %	Na ₂ O, %	K ₂ O, %	P ₂ O ₅ , %	I _{итс}	I _{гк}	Стадии	Формации
1612	59,46	0,64	12,71	3,92	0,08	3,36	4,06	0,84	3,97	0,10	10,30	6,07	4	2
1673	54,24	1,06	18,99	4,32	0,03	3,00	1,76	2,40	5,06	0,27	6,45	6,03	4	2
1705	51,35	0,76	14,15	7,14	0,07	4,36	3,63	2,70	3,84	0,22	12,16	6,59	4	2
1761	54,63	0,90	15,42	6,75	0,05	3,28	1,65	2,34	5,13	0,23	7,02	5,67	4	2
1822	55,99	0,64	13,17	4,58	0,04	5,04	2,59	1,95	4,79	0,13	10,99	4,88	4	2
Скважина FY1														
228,50	52,42	0,61	13,22	7,15	0,12	3,62	7,06	2,02	2,59	0,2	16,30	8,73	1	1
255,50	63,41	0,54	13,76	5,4	0,06	2,15	2,24	2,62	2,72	0,15	5,73	5,84	1	1
301,50	60,08	0,51	13,62	5,04	0,11	1,95	4,72	2,72	2,55	0,19	9,14	6,09	1	1
370,50	58,8	0,66	14,78	5,05	0,12	1,78	4,39	2,28	2,7	0,14	8,47	7,04	1	1
595,50	67,28	0,7	15,72	4,68	0,06	1,38	1,35	3,33	2,98	0,15	3,33	4,98	1	1
701,50	61,31	0,72	15,72	5,35	0,05	1,59	1,36	2,05	2,71	0,12	3,86	7,48	1	1
743,50	61,28	0,64	14,57	5,64	0,08	1,46	2,12	2,36	2,77	0,14	4,78	6,66	1	1
789,50	61,96	0,75	15,79	5,23	0,05	1,54	1,49	2,26	3,18	0,13	3,92	6,47	1	1
828,50	52,89	0,66	14,15	6,19	0,09	1,86	1,35	1,68	2,57	0,14	4,87	9,38	1	1
862,50	58,01	0,67	14,52	5,95	0,09	1,89	3,31	1,98	2,72	0,16	7,23	7,79	1	1
910,50	47	0,6	11,55	11,64	0,5	1,57	7,13	1,27	2,22	0,31	15,55	14,81	2	2
940,00	57,42	0,76	15,28	5,57	0,05	1,88	1,37	1,64	2,89	0,12	4,49	8,33	2	2
971,50	58,46	0,72	15,36	5,33	0,06	1,7	1,32	1,8	2,88	0,15	4,13	7,85	2	2
1000,00	57,7	0,71	15	6,53	0,06	1,79	0,88	1,8	2,96	0,12	3,72	8,12	2	2
1000,00	57,7	0,71	15	6,53	0,06	1,79	0,88	1,8	2,96	0,12	3,72	8,12	2	2
1060,00	59,68	0,72	14,99	5,06	0,11	1,65	2,2	2,21	2,95	0,14	5,25	6,78	2	2
1080,00	59,31	0,77	15,66	6,11	0,08	2,4	1,75	1,99	2,99	0,2	5,58	7,66	2	2
1319,50	54,96	0,6	13,45	5,39	0,1	2,95	4,75	1,88	2,86	0,22	11,30	7,50	2	2
1365,50	55,51	0,7	14,92	5,89	0,1	2,4	3,25	1,56	3	0,24	8,08	8,54	2	2
1420,00	55,36	0,72	14,59	6,5	0,1	2,39	3,19	1,53	2,85	0,22	8,04	9,04	2	2
1488,50	49,81	0,68	13,87	6,45	0,07	1,67	6,22	1,42	3,04	0,21	12,37	9,48	2	2
1540,00	50,82	0,6	12,91	5,29	0,17	2,25	8,07	1,64	2,58	0,2	16,31	8,85	3	2
1605,50	57,58	0,74	16,02	6,58	0,13	2,47	2,37	1,57	3,12	0,21	6,69	8,69	3	2
1660,00	56,4	0,69	15,61	6,46	0,09	2,03	1,89	2,04	2,84	0,23	5,52	8,30	3	2
1726,50	46,55	0,49	10,87	4,8	0,1	8,38	8,55	1,33	2,51	0,16	29,41	9,10	3	2
1760,00	45,65	0,47	10,03	4,89	0,11	8,23	9,76	1,14	2,42	0,15	32,24	9,54	3	2
1840,00	47,96	0,56	12,26	5,21	0,11	4,2	6,49	2,86	3,4	0,18	17,77	6,04	4	2
1908,00	55,38	0,62	14,11	4,87	0,08	2,8	3,53	3,89	3,6	0,15	9,14	4,74	4	2
1926,00	48,4	0,61	12,6	5,11	0,12	4,97	6,69	2,68	3,25	0,12	19,12	6,42	4	2
1944,00	46,66	0,5	10,55	4,6	0,12	6,31	10,03	2,67	3,2	0,15	28,52	5,76	4	2
1980,00	45,87	0,45	10,25	4,44	0,13	6,2	12,11	2,79	2,47	0,13	32,60	6,33	4	2

Примечание. Данные по оксидам приведены в мас. % (Hu et al., 2020). 1. Индекс интенсивности терригенного сноса: $I_{итс} = [(CaO + MnO + MgO) / (SiO_2 + TiO_2 + Al_2O_3)] \times 100$; 2. Индекс гумидности климата: $I_{гк} = [GM / (K_2O + Na_2O)] \times 100$, где $GM = [(TiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + MnO) / SiO_2]$ [Юдович, Кетрис, 2000]; Стадии: А — 4; В — 3; С — 2; D — 1. Формации: 1 — Фусинская формация; 2 — Шайхская формация.

щие между собой с 95% уровнем значимости (табл. 2). Первая группа оксидов: SiO₂, TiO₂ и Al₂O₃; вторая группа представлена CaO, MnO и MgO. Рассмотрим коэффициенты корреляции между оксидами внутри выделенных групп. SiO₂ положительно коррелирует с TiO₂ и Al₂O₃ (коэффициенты корреляции, соответственно, равны 0,42 и 0,58 (табл. 2)). CaO имеет сильную отрицательную корреляцию с SiO₂, TiO₂ и Al₂O₃, соответствующие коэффициенты корреляции составляют -0,84; -0,68; -0,78. С MgO и MnO

у CaO положительная корреляция, коэффициенты корреляции, соответственно, равны 0,53 и 0,49 (табл. 2; рис. 2). Следует отметить, что выборка равна почти 100 образцам, поэтому приведенные коэффициенты корреляции достаточно высокие. По данным литологического описания [Xu et al., 2019, 2020] и результатам корреляционного анализа первая группа оксидов (SiO₂, TiO₂ и Al₂O₃) входит в состав терригенного материала, а вторая группа (CaO, MnO и MgO) — в основном в состав хемогенной

Таблица 2

Корреляционная матрица Пирсона на основе данных по содержанию оксидов по скважинам DY1 и FY1 [Xu et al., 2020] Фушуньского угольного бассейна

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
SiO ₂	1,00	0,42	0,58	-0,07	-0,45	-0,53	-0,84	0,25	0,12	0,07
TiO ₂		1,00	0,84	0,05	-0,40	-0,49	-0,68	-0,01	0,51	0,10
Al ₂ O ₃			1,00	-0,07	-0,46	-0,60	-0,77	0,04	0,41	0,09
Fe ₂ O ₃				1,00	0,52	-0,09	-0,11	-0,12	-0,11	-0,03
MnO					1,00	0,11	0,49	-0,25	-0,28	-0,11
MgO						1,00	0,53	-0,01	0,08	-0,06
CaO							1,00	-0,16	-0,28	-0,08
Na ₂ O								1,00	0,00	0,05
K ₂ O									1,00	0,04
P ₂ O ₅										1,00

Примечание. Полу жирным и курсивом показаны коэффициенты корреляции, отвечающие 95% уровню значимости. Полу жирным — положительные, а курсивом — отрицательные значения коэффициентов корреляции.

составляющей отложений фусинской и шахайской угленосных формаций.

Для исследования взаимосвязи между первой и второй химическими группами оксидов обеих формаций был выполнен одномерный регрессионный анализ 82 образцов. В результате была установлена обратная нелинейная регрессионная взаимосвязь между суммой терригенных оксидов — SiO₂, TiO₂ и Al₂O₃ и суммой хемогенных оксидов — CaO, MnO и MgO, с уровнем достоверности 99%, P-value < 0,01. При этом коэффициент корреляции составляет 0,92.

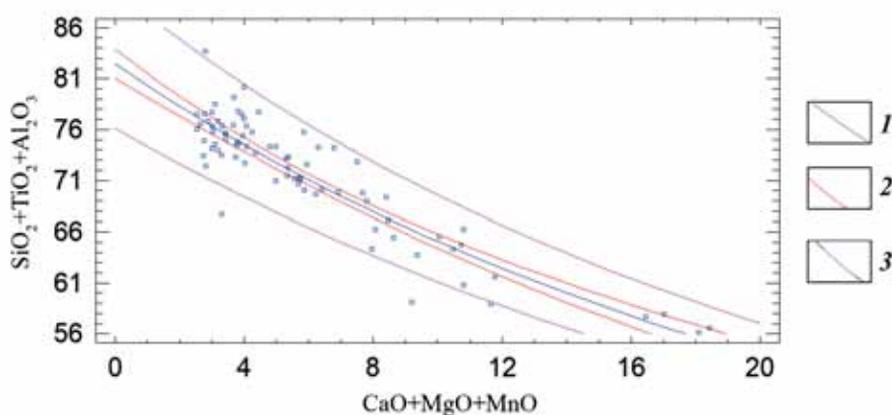


Рис. 3. Результаты регрессионного анализа обратной нелинейной взаимосвязи суммы терригенных оксидов — SiO₂ + TiO₂ + Al₂O₃ с суммой хемогенных оксидов — CaO + MgO + MnO. 1 — доверительный интервал, соответствующий предсказанному значению регрессии; 2 — доверительный интервал для среднего значения предсказанных значений регрессии; 3 — линия регрессии

Таблица 3

Основные данные одномерного регрессионного анализа по взаимосвязи суммы оксидов первой $\Sigma(\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ и второй $\Sigma(\text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO})$ геохимических групп фусинской и шахайской угленосных формаций Фушуньского угольного бассейна

Уравнение регрессии	Количество исследуемых образцов	Коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R ² , %	Стандартная ошибка регрессии	P-value
$\Sigma(\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) = 1/[0,0121 + 0,000324 \times \Sigma(\text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO})]$	82	0,92	85%	0,0005	0,00

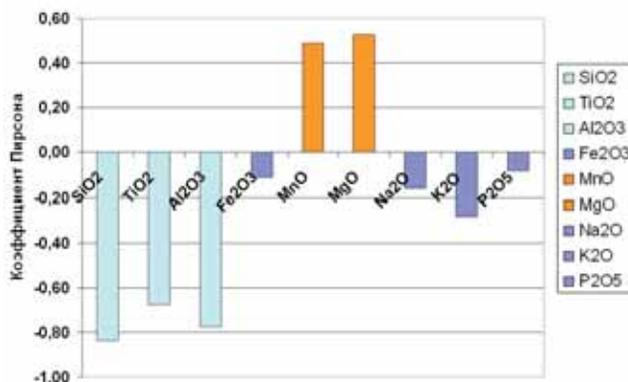


Рис. 2. Диаграмма корреляционной взаимосвязи CaO с другими основными оксидами фусинской и шахайской формаций скважин DY1 и FY1 на основе данных корреляционного анализа Пирсона. Голубым цветом показаны значимые отрицательные коэффициенты корреляции с уровнем достоверности 95%. Оранжевым цветом значимые положительные коэффициенты корреляции с уровнем достоверности 95%. Фиолетовым цветом показаны нейтральные коэффициенты корреляции

Вместе с тем коэффициент детерминации R², равный 85%, показывает долю уменьшения суммы терригенных оксидов первой группы относительно второй хемогенной группы оксидов. Стандартная ошибка регрессии (среднеквадратическое отклонение регрессионных остатков) составляет всего 0,0005. Данный показатель показывает среднее расстояние, на которое наблюдаемые значения отклоняются от линии регрессии. В связи с весьма малым значением стандартной ошибки полученная модель регрессии обладает высокой точностью. Таким образом, можно утверждать, что при увеличении роли терригенного сноса в Фушуньский бассейн интенсивность процессов хемогенного осаждения веществ из растворов резко сокращалась (рис. 3; табл. 3).

Как известно [Юдович, Кетрис, 2000], степень гумидности климата может быть хорошо охарактеризована с помощью гидролизатного модуля (ГМ) и суммы щелочей (K_2O+Na_2O). При этом увеличение гумидизации климата связано с увеличением ГМ в сторону значений равных — 0,5 с одновременным уменьшением суммы (K_2O+Na_2O), а для процессов аридизации характерны одновременно повышенные значения ГМ и суммы (K_2O+Na_2O). В настоящей статье индекс гумидности ($I_{гк}$) рассчитан как отношение ГМ к сумме оксидов (K_2O+Na_2O) с умножением на 100, т.е. $I_{гк}=[ГМ/(K_2O+Na_2O)]\times 100$. Кроме того, на основе полученных данных корреляционного и одномерного регрессионного анализов был вычислен индекс интенсивности терригенного сноса, который также характеризует уровень воды в бассейне седиментации [Хазиев, Фахрутдинов, 2015], который тесно связан с возрастанием или убыванием обломочного материала в Фушуньском бассейне. Следует отметить, что с увеличением терригенной составляющей и ростом содержаний SiO_2 , TiO_2 и Al_2O_3 , уровень воды в пресноводных водоемах Фушуньского бассейна понижался, а с увеличением хемогенной составляющей и ростом содержаний CaO , MnO и MgO в осадке — повышался. Данный индекс интенсивности терригенного сноса ($I_{итс}$) был рассчитан как отношение суммы CaO , MnO и MgO к сумме SiO_2 , TiO_2 и Al_2O_3 с умножением на 100, т.е. $I_{итс}=[(CaO+MnO+MgO)/(SiO_2+TiO_2+Al_2O_3)]\times 100$. Изучение палеоклиматических изменений и условий седиментации в Фушуньском угольном бассейне в апт-альбское время было проведено на основе однофакторного дисперсионного анализа распределения обоих индексов в пределах 4-х выделенных

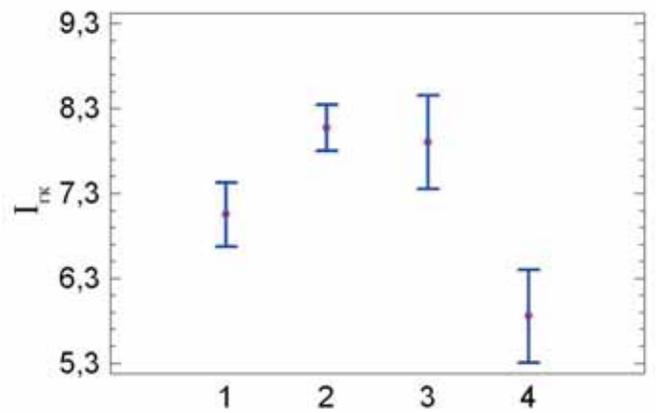


Рис. 4. Данные дисперсионного анализа закономерности распределения индекса гумидности климата: $I_{гк}=[ГМ/(K_2O+Na_2O)]\times 100$ в пределах 4-х стадий фусинской и шахайской угленосных формаций по скважинам DY1 и FY1 с уровнем достоверности 95%, где ГМ = $[(TiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3+MnO)/SiO_2]$. 1 — стадия D; 2 — стадия C; 3 — стадия B; 4 — стадия A

стадий накопления фусинской и шахайской угленосных формаций Фушуньского угольного бассейна. В результате было установлено закономерное распределение индекса гумидности в пределах четырех стадий с уровнем достоверности 95%. При этом индекс гумидности климата растет от стадии A позднеаптского времени к стадиям B и C, соответственно, от 5,85 до 8,07%, в 1,4 раза, к раннеальбскому периоду. К стадии D (альбский период времени) наблюдается некоторое уменьшение индекса гумидности климата до 7,05% (рис. 4; табл. 4 и 5). Как известно, большее значение среднеквадратического отклонения показывает больший разброс значений в представленном

Таблица 4

Результаты дисперсионного анализа распределения показателя гумидности климата $I_{гк}$ в пределах 4-х стадий накопления фусинской и шахайской угленосных формаций Фушуньского угольного бассейна

Исследуемые параметры	Источник	Сумма квадратов, SS	Степени свободы, Df	Средние квадраты	F-отношение	P-значение
$I_{гк}$	Между группами	46,513	3	15,50	10,13	0,00
	Внутри групп	119,431	78	1,53		
	Общее значение	165,944	81			

Таблица 5

Распределение показателя гумидности климата — $(ГМ/K_2O+Na_2O)\times 100$ в пределах 4-х стадий накопления фусинской и шахайской угленосных формаций Фушуньского угольного бассейна с уровнем достоверности 95%

Исследуемые параметры	Группы	Количество образцов	Среднее значение	Среднеквадратическое отклонение	Минимальное значение	Максимальное значение	95% доверительный интервал для среднего*	
							нижняя граница	верхняя граница
$I_{гк}$	1	21	7,05	1,08	4,98	9,38	6,67	7,43
	2	41	8,08	1,42	6,52	14,81	7,80	8,35
	3	10	7,91	1,17	6,06	9,54	7,35	8,46
	4	10	5,85	0,62	4,74	6,59	5,30	6,40
	Общее значение	82	7,52	1,43	4,74	14,81		

Примечание. * При большом числе выборок из генеральной совокупности 95% средних значений этих выборок попадут в интервал, определяемый нижней и верхней границами.

множестве. В нашем случае повышенные значения среднеквадратического отклонения (табл. 5) в стадиях — В, С и D, соответственно, равные — 1,16, 1,42 и 1,08%, свидетельствуют о существовании климатических изменений при общей тенденции к гумидизации климата в этот период времени.

Стадии накопления фусинской и шахайской угленосных формаций по скважинам DY1 и FY1: 1 — стадия D, 2 — стадия С, 3 — стадия В, 4 — стадия А.

Рассмотрим распределение индекса интенсивности терригенного сноса ($I_{итс}$) в Фушуньском бассейне на протяжении 4-х стадий накопления фусинской и шахайской угленосных формаций от

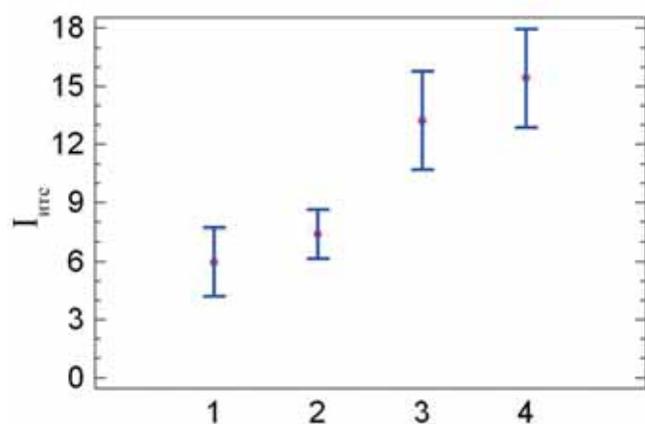


Рис. 5. Данные дисперсионного анализа законмерности распределения индекса интенсивности терригенного сноса $I_{итс} = [(CaO+MnO+MgO)/(SiO_2+TiO_2+Al_2O_3)] \times 100$ в пределах 4-х стадий фусинской и шахайской угленосных формаций по скважинам DY1 и FY1 с уровнем достоверности 95%. 1 — стадия D; 2 — стадия С; 3 — стадия В; 4 — стадия А

А до D. В результате проведения однофакторного дисперсионного анализа была доказана законмерность его распределения с уровнем достоверности 95%. В отличие от индекса гумидности климата данный индекс заметно уменьшается от стадии А к стадиям С и D. При этом его среднее значение от стадии А к стадии В уменьшается от 15,4 до 7,4%, т.е. в 2,1 раза (рис. 5; табл. 6 и 7). Следует отметить, что повышенный уровень воды в пресноводных водоемах Фушуньского бассейна типичен для стадий А и В в позднеаптское время, что соответствовало развитию озерных фаций и процессам хемогенного осаждения веществ из растворов. Тем не менее, в этот период времени характерны значительные колебания уровня воды в пресноводных водоемах Фушуньского бассейна, среднеквадратическое отклонение здесь составляет 9,02 и 10,43, что привело к смене обстановок на аллювиально-озерные и аллювиально-озерно-болотные. В то же время, относительно стабильные условия, а также активное поступление терригенного материала в водоемы Фушуньского бассейна и понижение уровня их вод наблюдаются в стадиях С и D в раннеальбское время, среднеквадратические отклонения уменьшаются до значений, соответственно, равных 4,07 и 2,88 (табл. 7). Для данного этапа характерна смена озерных обстановок на аллювиально-озерно-болотные и болотные.

Заклучение. Таким образом, на основе математических методов статистики было доказано существование палеоклиматических изменений и связанных с ними условий седиментации шахайской и фусинской угленосных формаций Фушуньского угольного бассейна в апт-альбское время. Тенденция

Таблица 6

Результаты дисперсионного анализа распределения индекса интенсивности терригенного сноса $I_{итс}$ в пределах 4-х стадий накопления фусинской и шахайской угленосных формаций Фушуньского угольного бассейна

Исследуемые параметры	Источник	Сумма квадратов, SS	Степени свободы, Df	Средние квадраты	F-отношение	P-значение
$I_{итс}$	Между группами	39599	1	39599	92,9	0,00
	Внутри групп	25150	59	426,3		
	Общее значение	64748,9	60			

Таблица 7

Распределение распределения индекса интенсивности терригенного сноса $I_{итс}$ в пределах 4-х стадий фусинской и шахайской угленосных формаций Фушуньского угольного бассейна с уровнем достоверности 95%

Исследуемые параметры	Группы	Количество образцов	Среднее значение	Среднеквадратическое отклонение	Минимальное значение	Максимальное значение	95% доверительный интервал для среднего*	
							нижняя граница	верхняя граница
$I_{итс}$	1	21	5,93	2,88	3,33	16,3	4,18	7,69
	2	41	7,38	4,07	3,25	19,75	6,13	8,63
	3	10	13,21	10,43	4,14	32,24	10,67	15,75
	4	10	15,41	9,02	6,45	32,6	12,87	17,95
	Общее значение	82	8,699	6,50	3,25	32,6		

Примечание. Стадии накопления фусинской и шахайской угленосных формаций по скважинам DY1 и FY1: 1 — стадия D; 2 — стадия С; 3 — стадия В; 4 — стадия А.

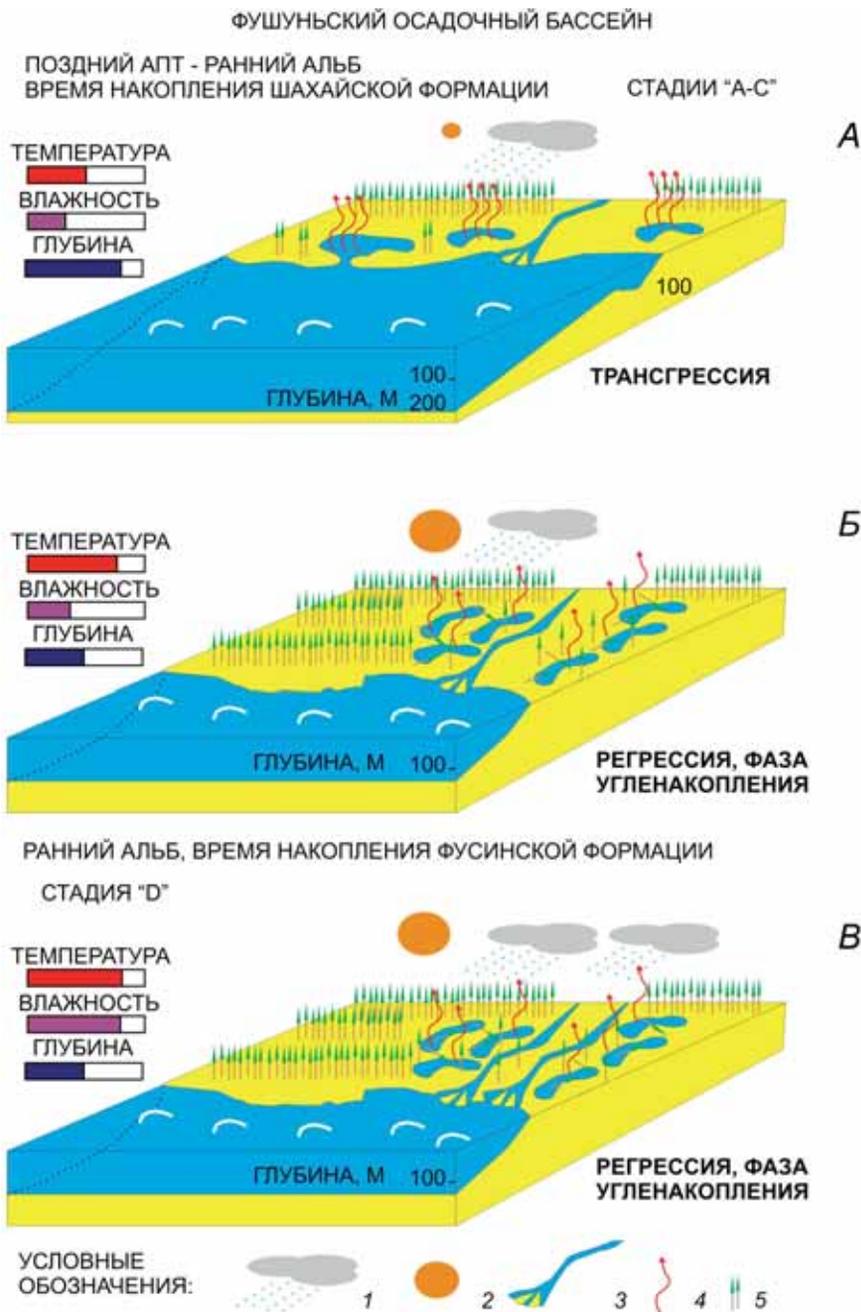


Рис. 6. Схематическая палеогеографическая модель условий седиментации в конце аптского — начале альбского времени в Фушуньском осадочном бассейне. А и Б — конец аптского — начало альбского времени (стадии «А»–«С»), В — ранний альб (стадия «D»). А — формирование озер и болот на прибрежной аккумулятивной равнине в условиях относительной трансгрессии и относительного похолодания климата. Б — фаза угленакопления на прибрежной аккумулятивной равнине в условиях относительной регрессии и относительного потепления климата. В — фаза угленакопления на прибрежной аккумулятивной равнине в условиях относительной регрессии и относительного потепления климата, относительного увеличения влажности и объема терригенного сноса: 1 — атмосферные осадки; 2 — солнечная инсоляция; 3 — речной сток; 4 — испарение; 5 — наземная растительность

к увеличению влажности климата наблюдается от стадии А к стадии С в позднеаптское время с некоторым уменьшением к стадии D в раннеальбский и альбский периоды. При этом резкое понижение уровня воды в пресноводных водоемах Фушуньского бассейна характерно для стадии D, которая характеризует накопление фусинской угольной формации. Увеличение влажности климата в Фушуньском угольном бассейне соответствовало широко рас-

пространенному аноксическому бескислородному событию в раннеальбское время (OAE1b, Paque) [Копаевич, 2013; Савельева, 2014; Jenkyns, 1997, 2003]. Наряду с этим, по мере увеличения влажности климата и температуры [Савельева, 2014] наблюдается активизация сноса обломочного материала в Фушуньский бассейн с Северо-Китайской платформы рекой Пра-Желтая. В результате нарастающего поступления терригенного материала с суши в Фу-

шуньский бассейн и одновременным понижением уровня поверхности воды его пресноводных водоемов, в нем создавались благоприятные условия для формирования болот и торфонакопления. В результате все нарастающих масс обломочного материала происходило постепенное уплотнение торфяных пластов и погружение их на глубину в область повышенных давлений и температур с образованием угольных пластов.

В апт-альбское время территория Фушуньского бассейна седиментации представляла собой обширную алювиально-озерно-дельтовую равнину (рис. 6), которая была сформирована в процессе эрозионно-аккумулятивной деятельности реки Пра-Желтая. Процессы заболачивания и торфонакопления были связаны с понижением уровня воды в пресноводных водоемах Фушуньского бассейна с формированием многочисленных болот (рис. 6, А), что коррелирует с глобальным эвстатическим понижением уровня Мирового океана с середины апта до середины альба в интервале 117–105 млн лет назад [van der Meer, Scotese, Mills, 2022] и моментами относительного похолодания климата, связанного с моментом совмещения в интервале 115–114 млн лет назад [Габдуллин, 2023].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берк К., Кэйри П. Анализ данных с помощью Microsoft Excel / Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. 560 с.
2. Габдуллин Р.Р. Высокоточная циклическая корреляция разрезов фанерозоя Северной Евразии как основа для актуальных палеогеографических и палеоклиматических реконструкций: Дисс. ... докт. геол.-минерал. наук. М., 2023. 550 с.
3. Киселева А.А., Рождествина В.И., Сорокин А.П. и др. Палеорекострукция условий угленакопления Сергеевского бурого угольного месторождения // Вестник АмГУ. Вып. 67. 2014. С. 145–150.
4. Копеевич Л.Ф. Обстановки дефицита кислорода и их влияние на морфологию раковин меловых планктонных фораминифер // Систематика организмов. Ее значение для биостратиграфии и палеобиогеографии. Материалы LIX сессии палеонтологического общества. СПб., 2013. С. 64–66.
5. Левитан М.А., Сыромятников К.В., Рощина И.А. и др. Соотношение цвета и химического состава четвертичных донных осадков из южной части поднятия Менделеева и континентального склона Восточно-Сибирского моря // Геохимия. 2014. № 3. С. 233–248.
6. Найдин Д.П., Похиалайнен В.П., Кац Ю.И. и др. Меловой период. Палеогеография и палеоокеанология. М.: Наука, 1986. 262 с.
7. Савельева О.Л. Меловые аноксические события в Тихом океане // Природа. 2014. № 14. С. 17–23.
8. Сыромятников К.В., Левитан М.А. Применение дисперсионного и регрессионного анализов для изучения взаимоотношений ряда компонентов верхнеплиоценовых отложений Индийского океана // Геохимия. 2021. Т. 66, № 2. С. 114–126.
9. Сыромятников К.В., Габдуллин Р.Р. Основные факторы седиментогенеза и раннего диагенеза в донных

В периоды повышения уровня воды в водоемах Фушуньского бассейна (рис. 6, Б) формировались благоприятные условия для формирования озер, характерных для стадий А, В и С в условиях относительной регрессии и относительного потепления климата. Стадия D, соответствующая накоплению фусинской угленосной формации (рис. 6, В), сформировалась в условиях понижения уровня воды в водоемах Фушуньского бассейна и увеличения роли терригенного материала, поступающего с прилегающей суши. Для нее характерно максимальное развитие алювиально-озерно-болотных обстановок осадконакопления по сравнению со стадиями А, В и С, что обусловило ее максимальную угленосность. В это время угленакопление на прибрежной аккумулятивной равнине проходило в условиях относительной регрессии и относительного потепления климата, относительного увеличения влажности и объема терригенного сноса.

Активизации процессов торфонакопления и углеобразования способствовали: 1) увеличение влажности климата; 2) активизация сноса обломочного материала; 3) понижение уровня воды в пресноводных водоемах Фушуньского бассейна, вызванное глобальным понижением уровня Мирового океана.

осадках Карского моря на основе методов математической статистики // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 5. С. 99–112.

10. Тимофеев П.П., Боголюбова Л.И., Копорулин В.И. Седиментогенез и литогенез отложений интинской свиты юга Печорского угольного бассейна. М.: Наука, 2002. 224 с.

11. Тимофеев П.П., Боголюбова Л.И. Седиментогенез и ранний литогенез голоценовых отложений в областях приморского торфонакопления (Колхида, Южная Прибалтика, Западная Куба, Флорида). М.: Наука, 1998. 412 с.

12. Хазиев Р.Р., Фахрутдинов Э.И., Нургалиева Н.Г. Литохимическая зональность и циклическое строение пермских отложений на северо-восточном склоне Южно-Татарского свода // Георесурсы. Казань. 2015. Т. 1, № 3 (62). С. 27–32.

13. Эволюция организмов и биостратиграфия середины мелового периода // Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 1981. 144 с.

14. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 472 с.

15. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимические индикаторы литогенеза (Литогеохимическая геохимия). Сыктывкар, 2011. 740 с.

16. Ясаманов Н.А. Древние климаты Земли. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 296 с.

17. Jenkyns H.C. Mesozoic anoxic events and palaeoclimate // Zentralblatt für Geologie und Paläontologie 1997 (7–9). 1999. P. 943–949.

18. Jenkyns H.C. Evidence for rapid climate change in the Mesozoic-Paleogene greenhouse world. // Philosophical Transactions of the Royal Society. 2003. № 361. P. 1885–1916.

19. Meer D. G. van der, Scotese Ch. R., Mills B. J. W., et al. Long-term Phanerozoic global mean sea level: Insights from strontium isotope variations and estimates of continental glaciation // Gondwana Research. 2022. Vol. 111. P. 103–121.

20. Wang Y.D., Huang C.M., Sun B.N., et al. Paleo-CO₂ variation trends and the Cretaceous greenhouse climate // *Earth-Science*. 2014. Vol. 129. P. 136–147.
21. Weissert H. C-isotope stratigraphy, a monitor of paleoenvironmental change: A case study from the Early Cretaceous // *Surveys in Geophysics*. 1989. Vol. 10. P. 1–61.
22. Weissert H., Lini A. Ice age interludes during the time of Cretaceous greenhouse climate // *Controversies in modern geology* / Ed. D.W. Mueller, J.A. McKenzie, and H. Weissert. London: Academic Press, 2019. P. 173–191.
23. Wilson M.J. Weathering of the primary rock-forming minerals: Processes, products and rates // *Clay Minerals*. 2018. Vol. 39. P. 233–266.
24. Xu X.-T., Shao L.-Yi, Lan B., et al. Continental chemical weathering during the Early Cretaceous Oceanic Anoxic Event (OAE1b): a case study from the Fuxin fluvio-lacustrine basin, Liaoning Province, NE China // *Journal of Palaeogeography*. 2020. Vol. 9. P. 1–21.
25. Xu X., Shao L., Fu Y., Wang D., et al. Sequence palaeogeography, lacustrine basin evolution, and coal accumulation in the Lower Cretaceous Fuxin continental faulted basin, China // *Geological journal*. 2019. Vol. 55(1). P. 1–21.

Статья поступила в редакцию 02.10.2023,
одобрена после рецензирования 12.11.2023,
принята к публикации 28.02.2024