

АНАЛИЗ ОБОГАЩЕНИЯ ГЛИН ЮГО-ЗАПАДНОГО УЧАСТКА ЛУКОШКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ГЛИН ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ МЕТОДОМ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ

С.А. Словогородский, М.А. Богуславский*

Московский Государственный университет имени М.В. Ломоносова

г. Москва, Российская Федерация

*slovogorodskiyasa@my.msu.ru

Аннотация. Лукошкинское месторождение керамических глин (Липецкая область) состоит из трех изолированных участков. Основной акцент в данном исследовании был сделан на Юго-Западном участке, однако единичные пробы были взяты и на Юго-Восточном участке. Глины полезной толщи на данном месторождении предыдущими исследователями отнесены к аптскому ярусу нижнего отдела меловой системы, а перекрывающие суглинки к неоплейстоцену [1]. Исследование проводилось комплексное: изучался минеральный и химический состав продуктивной толщи глин, а также суглинков, являющихся вскрышными породами. Отдельно рассматривался вопрос возможности обогащения всех разностей с помощью дезинтегратора. Качество сырья во многом зависит от содержания каолинита (прямое влияние на огнеупорность и на коридор спекаемости для фасадного кирпича), а также от количества вредных примесей: красящие (железо, титан), а также влияющих на температуру плавления (фосфор). Толща 1 и 2 содержат значимое количество каолинита (до 20 %) и кварца (до 60 %). Для толщ 1 и 2 метод дезинтеграции показал себя эффективным: содержание каолинита увеличилось до 70 %, а количество железа в пробах удалось снизить более чем в два раза. Суглинки вскрышных пород содержат более сложный состав: содержание каолинита не превышает 12 % и почти такое же количество хлорита, слюд и смектита. Метод обогащения привел к резкому увеличению до 46 % количества смектита, что требует дополнительных исследований по возможному использованию этих пород. Сейчас все эти суглинки складировать в отвал.

Ключевые слова: дезинтеграция, керамические глины, Лукошкинское месторождение, рентген-флюоресцентный анализ, рентген-дифракционный анализ, минеральный состав глин, каолинит, обогащение глин, вредные примеси, комплексное использование.

Для цитирования. Словогородский С.А., Богуславский М.А. Анализ обогащения глин Юго-Западного участка Лукошкинского месторождения керамических глин Липецкой области методом дезинтеграции. *Вестник СВФУ.* 2026;(2): 17-32. DOI: 10.25587/2587-8751-2026-1-17-32

Original article

DETERMINING MINERALOGICAL AND CHEMICAL DIFFERENCES IN FLANKS OF THE LUKOSHKINSKOE CERAMIC CLAY DEPOSIT OF LIPETSK REGION BY DISINTEGRATION

Semyon A. Slovogorodskiy, Mikhail A. Boguslavskiy*

Moscow State University

Moscow, Russia

*slovogorodskiyasa@my.msu.ru

Abstract. The Lukoshkinskoye ceramic clay deposit (Lipetsk region) consists of three isolated areas. The main focus of this study was the South-West area, but individual samples were also taken in the South-East area. Previous researchers have attributed the clays of the productive layer at this deposit to the Aptian stage of the lower part of the Cretaceous system, and the overlying loams to the Neopleistocene [1]. A comprehensive study

was conducted: the mineral and chemical composition of the productive clay layer, as well as overburden loams rocks, were studied. The possibility of enriching all varieties using a disintegrator was separately considered. The quality of the raw materials largely depends on the kaolinite content (directly influencing the refractoriness and the sintering corridor for facade bricks), as well as the amount of harmful impurities: coloring (iron, titanium), and those affecting the melting point (phosphorus). Layers 1 and 2 contain significant amounts of kaolinite (up to 20 %) and quartz (up to 60 %). For Layers 1 and 2, the disintegration method proved effective: the kaolinite content increased to 70 %, and the iron content in the samples was reduced by more than half. The loams of the overburden that are stored in a waste heap have a more complex composition: the kaolinite content does not exceed 12 % and almost the same amount of chlorite, micas, and smectite. The enrichment method led to a sharp increase in the smectite content to 46 %, necessitating further research into the potential uses of the rocks that are currently stored in stockpiles.

Keywords: disintegration, ceramic clays, Lukoshkinskoye deposit, X-ray fluorescence analysis, X-ray diffraction analysis, mineral composition of clays, kaolinite, clay enrichment, harmful impurities, complex use

For citation: Slovgorodskiy S.A., Boguslavskiy M.A. Determining mineralogical and chemical differences in flanks of the Lukoshkinskoye ceramic clay deposit of the Lipetsk region by disintegration. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences*. 2026;(2): 17-32. DOI: 10.25587/2587-8751-2026-1-17-32

Введение

Лукошкинское месторождение тугоплавких глин расположено в Задонском и Елецком районах Липецкой области на расстоянии 0,5-3 км к югу от железнодорожного разъезда «215 км», который находится на железнодорожной ветке Воронеж-Орел, в 20 км к востоку от г. Ельца и 60 км к западу от г. Липецка. Ближайшие населенные пункты: села Лукошкино, Аркатово, Новоселье. Лукошкинское месторождение состоит из трех крупных, пластообразно-линзовидных залежей тугоплавких глин, к которым относятся 3 ценных участка: Центральный, Юго-Восточный и Юго-Западный (рис. 1).

Юго-Восточный участок располагается в восточной части месторождения и занимает большую водораздельную площадь (0,6 кв. км) между балками Горшков Лог и Теплый Лог. Он вытянут в северо-западном направлении вдоль водораздела. Во время полевого выезда был посещен восточный борт рекультивированного Юго-Западного участка карьера.

Юго-Западный участок располагается в 1,5-3 км к югу от Юго-Восточного. В плане он вытянут в западном направлении, охватывая водораздельную площадь (1,2 км²) между балкой Теплый Лог и ее правым отводом. С юга участок ограничен защитной зоной газопровода (шириной 350 м) и одной из линий ЛЭП-110 кВ, расположенной рядом. На западном и восточном продолжении, которое проходит вдоль осевой части водораздела, полезная толща участка не имеет замкнутых форм и ограничена крайними разведочными выработками. Для сторон других направлений граница участка связана с контурными формами залежи, которые вызваны общим снижением уровня четвертичной эрозии на склонах водораздела. С восточного края юго-восточной части карьера были взяты пробы и проведены исследования по изучению химико-минералогических характеристик слоев месторождения, а также составлен подробный разрез края.

Полезная толща Юго-Западного участка имеет более простые условия залегания, по сравнению с Юго-Восточным. Форма ее подошвы на значительной части площади близка к почти горизонтальной поверхности, среднее положение которой составляет высоты в пределах 179-181 м.

Согласно исследованиям А.В. Крайнова Лукошкинского месторождения, установлено, что все продуктивные пласты характеризуются содержанием глинозёма, соответствующим классу полуокислых пород (28-14 %), а также повышенным уровнем красящих оксидов железа ($\text{Fe}_2\text{O}_3 > 3\%$) и титана ($\text{TiO}_2 = 1,5-3\%$) [1, 2, 3, 4, 5].

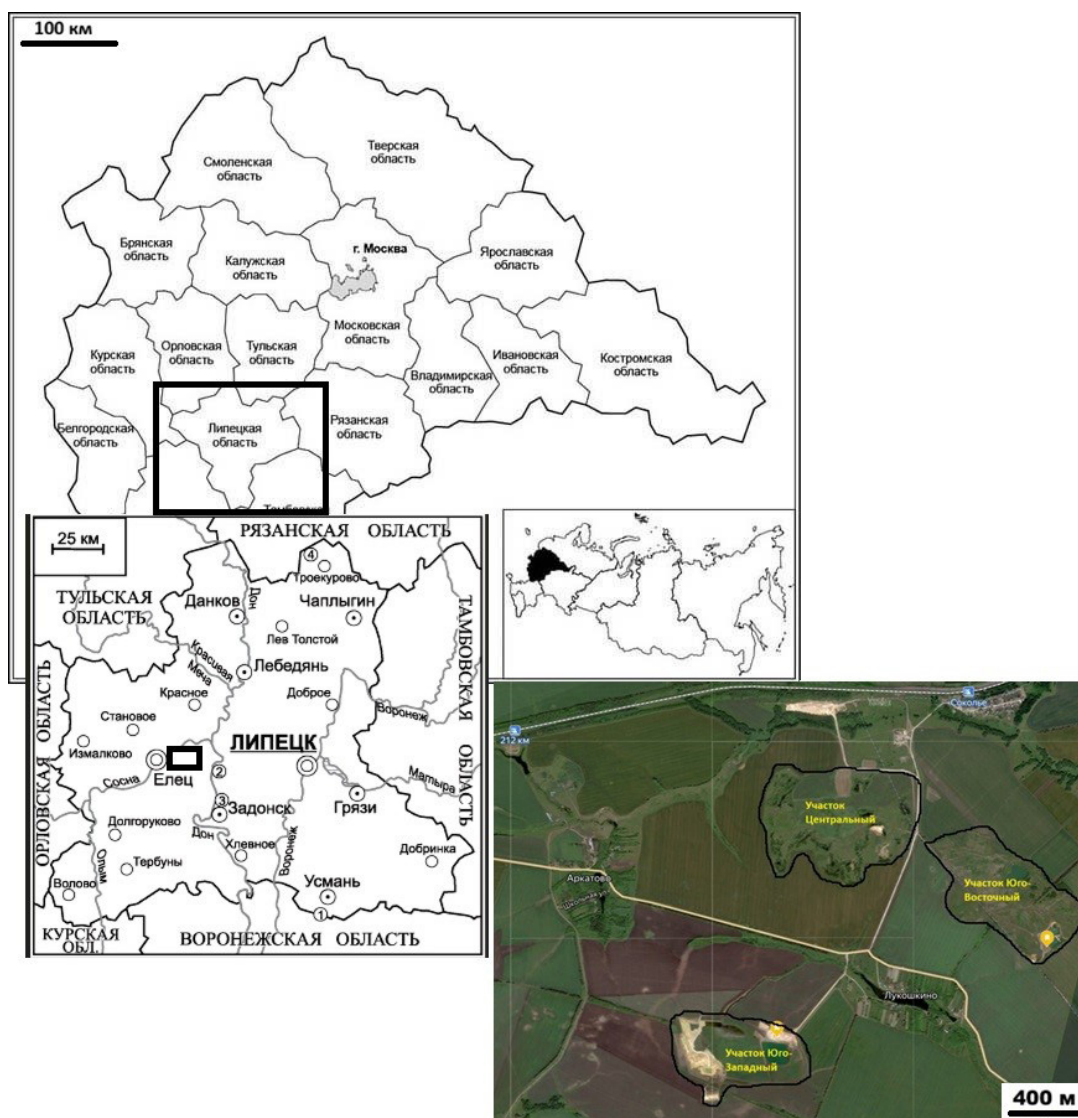


Рис. 1. Карта расположения Лукошкинского месторождения, Липецкая область, Россия

Fig. 1. Map of the location of the Lukoshkinskoye deposit, Lipetsk region, Russia

Качество глин

По данным многолетней эксплуатации Лукошкинского месторождения, многочисленным технологическим испытаниям, проведенным при оценке качества тугоплавких глин в составе глиноносной толщи апта, выделяется четыре керамические группы в зависимости от определенного соотношения вещественного состава (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав и показатель огнеупорности глин Лукошкинского месторождения [1]

Table 1

Chemical composition and fire resistance index of clays of the Lukoshkinskoye deposit [1]

Керамические группы	SiO ₂ , %	Al ₂ O ₃ , %	Fe ₂ O ₃ , %	Огнеупорность, С
I	61,66-70,04	17,43-25,25	2,25-7,07	1525-1570
II	66,06-74,50	14,67-19,84	2,25-7,07	1485-1610
III	61,12-81,88	17,40-22,19	1,18-7,25	1520-1600
IV	61,10-71,80	14,70-22,87	5,04-7,25	1385-1550

Группа I – Высокодисперсные, среднепластичные глины с низким содержанием красящих оксидов. Эти глины имеют преимущественно светло-серый или серый цвет, иногда с красноватыми или вишневыми оттенками из-за слабого ожелезнения. Они полукислые и содержат мало красящих оксидов. Отличаются очень мелкой фракцией: более 60 % частиц имеют размер менее 0,005 мм, а от 45,6 % до 66,1 % – менее 0,001 мм. Фракция от 0,06 до 0,01 мм составляет 22-30 %. Пластичность этих глин находится в диапазоне 15,0-22,7. Они умеренно чувствительны к сушке (коэффициент 0,91-1,07) и спекаются при температуре 1200-1280 °С, образуя светло-оранжевый черепок.

Группа II – Глины с переменной пластичностью и примесью песка, дающие темно-оранжевый или коричневый черепок. В эту группу входят серые, красновато-бурые и вишневые глины, которые могут значительно различаться по пластичности. Они содержат небольшое количество песка. Более 50 % частиц имеют размер менее 0,005 мм, а фракция 0,06-0,01 мм составляет в среднем 23 % (диапазон 11,55-27,63 %). Содержание кремнезема (SiO₂) колеблется от 66,06 % до 74,50 % (в среднем 70,71 %). По сравнению с первой группой, содержание оксида алюминия (Al₂O₃) здесь ниже, а оксида железа (Fe₂O₃) немного выше. При обжиге эти глины дают темно-оранжевый или коричневый черепок, который уплотняется несколько хуже, чем черепок глин первой группы.

Группа III – Грубодисперсные, умеренно пластичные глины с примесью песка и алеврита, не спекающиеся при обжиге. Эти глины имеют серый, светло-серый, бурый, желтовато-бурый или красный цвет и содержат до 5-7 % мелкозернистого песка и алеврита. Они умеренно пластичны и, как правило, грубодисперсны. Главное отличие от первых двух групп – значительно меньшее количество тонкодисперсной фракции (30-40 %) и большее содержание фракции 0,006-0,01 мм (32-40 %). При обжиге эти глины не спекаются, а их черепок приобретает яркие цвета. Прочность на сжатие варьируется от 231 до 616 кг/см² [6, 7, 8, 9, 10].

Группа IV – глины, близкие к I группе, но склонные к вспучиванию из-за высокого содержания железа. Эта группа включает красновато-бурые, красные, пятнистые и плотные глины с мелкими включениями глинистого песка. Они преимущественно полукислые, реже кислые, и характеризуются высоким содержанием красящих оксидов. Несмотря на то, что их количество невелико, по большинству параметров они схожи с глинами первой группы, за исключением повышенного содержания оксида железа (III). Именно это высокое содержание гидроксидов железа приводит к вспучиванию материала при обжиге.

Фосфор является вредной примесью для каждого производства, где используются подобные типы глины. Фосфор действует как сильный плавень. Соединения фосфора при обжиге значительно снижают температуру плавления, вызывая преждевременное спекание, деформацию изделий, уменьшение огнеупорности и образование хрупкой стеклофазы, что ухудшает механические свойства продукции. Фосфор образует легкоплавкие эвтектики (например, с железом и алюминием), из-за чего глина плавится при более низких температурах, что недопустимо для огнеупорных материалов. Из-за раннего образования жидкой фазы при обжиге изделия теряют

форму, усаживаются неравномерно, что приводит к браку. Фосфор способствует образованию хрупких кристаллических фаз, снижая вязкость и прочность керамики. Присутствие фосфора ухудшает спекаемость и структуру, делая черепок более хрупким и чувствительным к термическим ударам. В нашем исследовании этот вопрос рассматривается отдельно.

А.В. Крайнов выделял указанные выше группы глин на Юго-Восточном участке месторождения. По визуальному восприятию в забое Юго-Западного участка была предпринята попытка выделить эти группы (рис. 2)



Рис. 2. Сортовое деление глин Юго-Западного участка по аналогии с Юго-Восточным участком

Fig. 2. Varietal division of clays in the South-West section by analogy with the South-East section

Глины Лукошкинского месторождения поставляются потребителям в двух категориях, определяемых их керамическими свойствами, а также химическим и гранулометрическим составом. Первая категория предназначена для изготовления облицовочной керамической плитки, а вторая – преимущественно для производства лицевого кирпича.

Помимо этого, огнеупорные глины Лукошкинского месторождения находят широкое применение в строительстве. Из них производят дренажную плитку для полов, кислотоупорный кирпич, керамические стеновые блоки, канализационные и дренажные трубы, различные

кислотоупорные керамические изделия. Также эти глины могут служить сырьем для получения минеральных красок и терразитов – цветных штукатурных смесей.

Для производства лицевого кирпича марок М-100 и М-125 светлых, розовых и оранжевых оттенков чаще всего используются глины III керамической группы. Их применяют как в чистом виде, так и в качестве добавки (от 20 до 50 %) к легкоплавким, чувствительным к сушке глинам, в составе шихты наряду с легкоплавкими суглинками, песком и шамотом.

Глины II керамической группы, содержащие не менее 17 % Al_2O_3 , подходят для изготовления облицовочных и фасадных плиток. В этом случае требуется добавление плавней и отошителей.

Для производства напольной плитки коричневого и светло-коричневого цвета используются глины I керамической группы с содержанием Al_2O_3 не менее 19 %. Чтобы расширить интервал спекания, в состав шихты необходимо вводить плавни, такие как пегматит, полевые шпаты или нефелиновый сиенит. Оптимальный состав шихты включает 70 % огнеупорных глин, 20 % нефелинового сиенита и 10 % стеклобоя. Для этой массы оптимальное количество электролитов составляет 0,08 % соды и 0,35 % жидкого стекла при влажности 50 % [9,10].

Из глин IV керамической группы можно получать минеральные краски красивых бежевых, розовых и желтых тонов. При повышенном содержании песка из них также производят терразиты желтого, красного и серого цветов, оттенок которых зависит от минерального состава.

Материалы и методы

Рентгендифракционный анализ проб был проведен на рентгеновском дифрактометре «MiniFlex 600» (кафедра нефтегазовой седиментологии и морской геологии, геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова).

Исследования выполнены с использованием Аналитического комплекса на базе рентгенофлуоресцентного энергодисперсионного спектрометра ЭКРОС XRF-9700 (Экротим, Россия), приобретенного по Программе развития МГУ (кафедра геохимии геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова).

Анализ валовых проб методом дезинтеграции проводился на приборе ЭГДЛ-10 (технологический отдел ФГБУ ВИМС, г. Москва).

Исследование обогатимости полезной толщи

Обогащение глин направлено на улучшение качественных показателей сырьевых ресурсов, удаление вредных примесей и достижение необходимого уровня чистоты. На рисунках 3 и 4 отобраны основные способы и методы обогащения глин.



Рис. 3. Методы обогащения глин

Fig. 3. Methods of clay enrichment

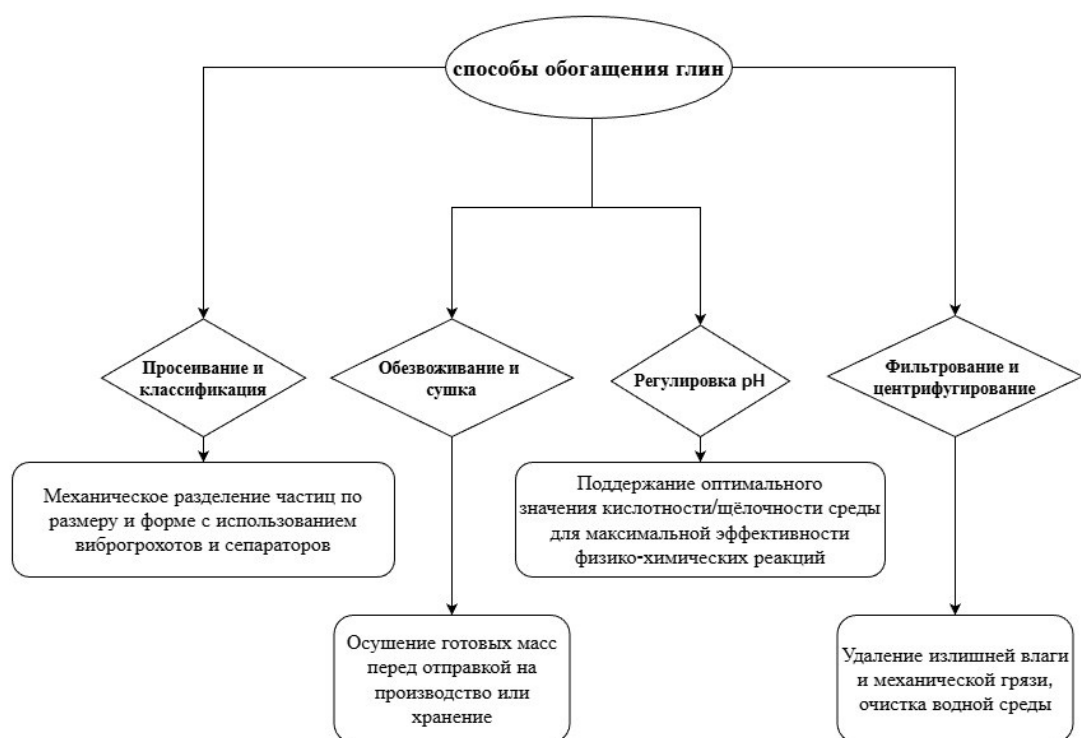


Рис.4. Способы обогащения глины

Fig.4. Methods of clay enrichment

Цель обогащения – снизить содержание загрязняющих примесей, таких как железо, марганец, алюминий, титан и прочие элементы, ухудшающие качество сырья. Или отделить глинистые минералы для увеличения температуры спекаемости.

Метод, применяемый в данной работе для подготовки шихты к обогащению (метод дезинтеграции), отличается своей простотой и экономичностью. Одной из ключевых задач исследования было оценить его эффективность и дать заключение о возможном использовании на данном месторождении.

Электрогидравлическая установка ЭГДЛ-10, предназначенная для разрушения геологических и технологических образцов весом до 10 килограммов, состоит из следующих компонентов: активатора, размещенного на раме с приемной емкостью; воздушного компрессора; пульта управления; источника питания, включающего в себя низковольтную и высоковольтную части; воздушного разрядника, выполняющего роль коммутатора высоковольтных импульсов. В состав гидросистемы установки входят ванна, бак, гидроциклонный узел очистки воды УГО35-4 и циркуляционные насосы.

ЭГДЛ-10 – это установка закрытого типа с циклическим режимом работы, где техническая вода циркулирует по замкнутому контуру. В нижнюю часть активатора подается рабочая жидкость. Очистка этой жидкости осуществляется с помощью гидроциклонной установки. Загрузка пробы выполняется оператором через откидную крышку сверху. Отмытый минеральный материал выгружается через пневматический пережимной клапан, расположенный в нижней части активатора, в сменный накопитель.

Измельченная фракция и глинистая суспензия покидают активатор через патрубок, расположенный в его верхней части. Размер вымываемых частиц зависит от производительности циркуляционного насоса и диаметра патрубка (настройка режимов осуществляется индивидуально в соответствии с потребностями пользователя). (рис. 5).

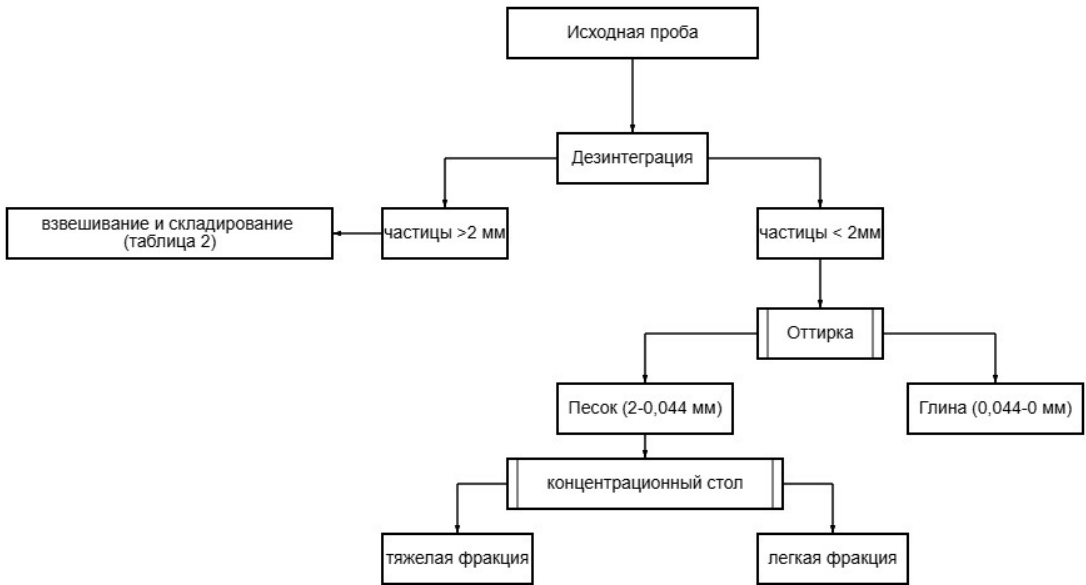


Рис. 5. Схема обработки проб путем дезинтеграции

Fig. 5. Scheme of sample processing by disintegration

Полевые работы

По работам предшественников [11, 12, 13, 14], состав глин данного месторождения является выдержанным по площади с преобладанием каолинита с примесью смешанослойного иллит-сметитового минерала (содержание каолинита в среднем 54-60 %, иллита 32-36 %). Однако исследования проводились на Центральном и Юго-Восточном участках и пробы продуктивной толщи отбирались из бортов действующих на тот момент карьеров.

В ходе полевых работ были отобраны пробы с разрабатываемого Юго-Западного карьера (рис. 6), а также из доступной стенки отработанного Юго-Восточного участка.

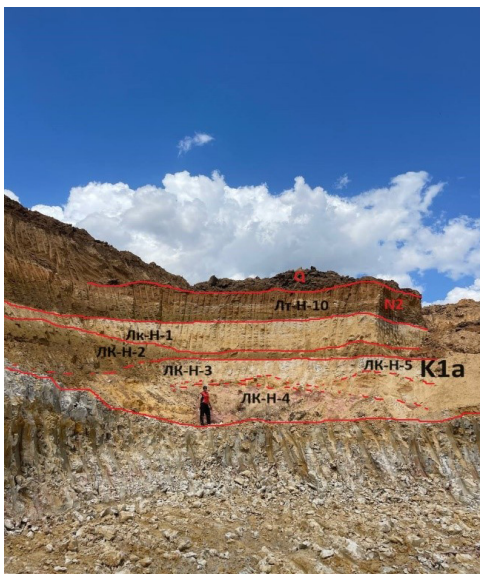


Рис.6. Места отбора проб (Карьер Юго-западный, восточная стенка)

Fig.6. Sampling sites (Southwest quarry, eastern wall)

Результаты

Результаты обработки пяти проб (толщи 1-3 Юго-Западного участка, а также борта рекультивированного карьера Юго-Восточного участка) дезинтегратором приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты обработки проб дезинтегратором

Table 2

Results of sample treatment with a disintegrator

№	Образец	Масса исходного образца, г	Масса образцов после дезинте- грации фракция +2 мм, г	Масса образцов после оттирки, г		Концентрационный стол		
				класс 2-0,044 мм	класс <0,044 мм	масса концентрата, г	масса П/П, г	масса хвостов, г
1	Лк-5	8114	381,7	3303	4878	49,5	240,8	2945,7
2	ЛК-Н-3	8962	40	2943	5367	28,4	101	2813,6
3	ЛК-Н-6	9234	53,5	3291,4	6008,7	26,5	206,2	2992,6
4	ЛК-Н-8	7585	74	2295	5334,3	22,9	155,7	2072,1
5	ЛК-Н-10	4194	9,6	1224,7	2982	9,6	545,2	657,2

Для глинистой фракции, выделенной в результате процесса дезинтеграции, был сделан рентгенофлуоресцентный и рентгендифракционный анализы и произведено сравнение с анали-
зами «первичных» пород (таблица 3-4) с целью сделать вывод об эффективности метода дезин-
теграции и возможном его применении в промышленных масштабах.

Таблица 3

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа исходных образцов (исх.) и образцов (Дз)
из дезинтегратора Лукошкинского месторождения

Table 3

Results of X-ray fluorescence analysis of the initial samples and samples from the disintegrator
of the Lukoshkinskoye deposit

№ п/п	Обр.	Описание образца	Хар-ка об- раца	ППП %	Na ₂ O %	MgO %	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	CaO %	Fe ₂ O ₃ %	MnO %	K ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	Сумма %
1	ЛК-5	Глина светло- серая, чистая, песчаная, не жирная на ощупь	Исх.	5,64	0,19	0,45	26,75	63,08	0,22	0,90	0	1,08	1,22	0,05	99,6
2	ЛК-5		Дз	9,22	0,18	0,53	26,05	57,00	0,32	3,76	0,01	1,28	1,50	0,09	99,9
3	ЛК- н-3	песчанистая глина серовато-бежева- того цвета, рассыпчатая	Исх.	7,15	0,27	0,41	23,25	57,45	0,25	7,81	0	2,02	1,10	0,14	99,9
4	ЛК- н-3		Дз	12,78	0,08	0,51	31,06	47,64	0,52	3,46	0,01	1,04	1,02	0,02	99,8

5	ЛК-Н-6	Глина ожелезненная серовато-бежевого цвета с прослоями оранжевых линз. Жирная на ощупь	Исх.	4,09	0,27	0,43	22,14	69,49	0,14	0,77	0	1,41	0,87	0,05	99,6
6	ЛК-Н-6		Дз	6,32	0,31	0,50	24,80	63,23	0,28	1,27	0	2,01	1,10	0,07	99,9
7	ЛК-Н-8	Глина серовато-розово-желтая, песчаная, жирная на ощупь	Исх.	2,92	0,20	0,22	16,99	76,96	0,08	1,20	0	0,76	0,60	0,05	100,0
8	ЛК-Н-8		Дз	8,04	0,20	0,41	25,77	59,16	0,22	3,23	0,01	1,55	0,97	0,07	99,6
9	ЛК-Н-10	Суглинок серо-коричневый со стяжениями белой хрупкой не жирной глины	Исх.	9,79	0,58	1,46	14,14	64,26	1,73	4,66	0,09	2,14	0,82	0,09	99,8
10	ЛК-Н-10		Дз	11,05	0,58	1,74	15,82	57,22	4,39	6,09	0,04	1,89	0,85	0,05	99,7

Таблица 4

Результаты рентген-дифракционного анализа исходных и отмученных образцов
Лукошкинского месторождения

Table 4

Results of X-ray diffraction analysis of the initial and ground samples of the Lukoshkinskoye deposit

№ п/п	Обр.	Хар-ка образца	слода	смешано-слоистый слода-сметит	сметит	Хлорит (шамозит)	каолинит	кварц	КППШ	Плагио-клас	Анальим	Кальцит	сидерит	гетит	сумма
1	ЛК-5	Исх.	7	0	0	0	36	53	следы	1	0	0	0	3	100
	ЛК-5	Дз	15	0	9	10	46	16	следы	следы	не опр.	0	0	4	100
2	ЛК-Н-3	Исх.	12	4	0	5	17	46	9	1	0	0	0	6	100
	ЛК-Н-3	Дз	4	0	5	7	71	11	следы	следы	не опр.	0	0	2	100
3	ЛК-Н-6	Исх.	14	1	0	0	19	61	2	1	0	0	0	2	100
	ЛК-Н-6	Дз	13	4	0	11	36	26	следы	1	не опр.	0	9	0	100
4	ЛК-Н-8	Исх.	6	0	0	0	22	69	0	1	0	0	0	2	100
	ЛК-Н-8	Дз	14	2	0	6	41	28	1	3	не опр.	0	0	5	100
5	ЛК-Н-10	Исх.	11	0	12	9	16	40	2	4	4	1	0	1	100
	ЛК-Н-10	Дз	8	0	42	1	3	28	1	3	не опр.	9	0	5	100

На основании рентгенофлуоресцентного анализа выявлено, что во всех исследуемых образцах после проведения дезинтеграции наблюдается снижение содержания кремнезёма.

Образец ЛК-5

Минеральный состав исходного образца ЛК-5 характерен для фланга месторождения и включает в себя кварц, каолинит, слюду и малую долю гетита. Анализ минерального состава образца ЛК-5 до и после дезинтеграции демонстрирует резкое уменьшение концентрации кварца, а также выявление новых минералов – хлорита и смектита, которые в исходной породе находились ниже порога обнаружения. Содержание каолинита увеличилось с 36 % до 46 %. По результатам рентгенофлуоресцентного анализа наблюдается незначительное увеличение содержания оксидов кальция, калия и магния. Также наблюдается значительное увеличение содержания оксида железа, в то время как содержание гетита остается относительно стабильным, что свидетельствует о том, что оксид железа не входит в состав «оболочки» кварцевых зёрен, а появляется вследствие присутствия в образце минералов, таких как слюда, хлорит и другие, содержащие железо в своём составе. Это позволяет обнаруживать его с помощью рентгенофлуоресцентного анализа. Удвоение содержания слюды произошло на фоне умеренного снижения доли кварца (с 63 % до 57 %) и кардинальное уменьшение количества кварцевых зёрен (с 53 % до 16 %). Колебание содержания оксида фосфора незначительно (0,05 % и 0,09 %).

Образец ЛК-Н-3

Минеральный состав исходного образца ЛК-Н-3 (толща 1) характеризуется высоким содержанием гетита и, следовательно, оксидов железа, а также присутствием оксидов марганца и калия, обусловленных повышенным содержанием слюды и слюдистых минералов. После дезинтеграции отмечается снижение содержания железа и кварца, что указывает на их взаимосвязь. Также стоит обратить внимание на значительный рост содержания каолинита (с 17 % до 71 %). Гранулометрический анализ фракции 0,044+ мм, полученной после дезинтеграции, показывает, что зерна кварца покрыты корками гетита и лимонита. После дезинтегратора присутствует только смектит, при этом не обнаруживаются смешаннослойные смектит-хлориты и иллит. Также зафиксировано уменьшение количества слюды, что подтверждается результатами рентгенофлуоресцентного анализа. Также хочется отметить значительное сокращение содержания оксида фосфора (0,19 % до 0,02 %).

Образец ЛК-Н-6

Минеральный состав исходного образца ЛК-Н-6 (толща 2) характеризуется высоким содержанием кварца и слюдистых минералов и небольшим содержанием каолинита. В результате дезинтеграции удалось удалить крупнозернистый (кварц с размерами зерен крупнее 0,044 мм) кварц, (содержание упало с 61 % до 26 %), однако значительного увеличения каолинита не последовало (увеличение с 19 % до 36 %). Вместо этого, в результате очистки образца был обнаружен хлорит и сидерит. По результатам XRF анализа наблюдается подтверждение: незначительное увеличение оксида алюминия (с 22,14 до 24,8 %), и незначительное уменьшение оксида кремния (с 69,5 до 63,2 %). Также незначительно увеличилось содержание оксида железа, титана и калия. Колебание содержания оксида фосфора незначительно (0,05 % и 0,06 %).

Образец ЛК-Н-8

Минеральный состав исходного образца ЛК-Н-8 (толща 3) характеризуется высоким содержанием кварца, малым содержанием слюды (6 %) и достаточно малым (1,2 %) содержанием гетита. После процесса дезинтеграции образца минеральный состав достаточно сильно изменился: резко повысилось содержание оксида железа. Увеличение содержания калия, магния и кальция во много раз свидетельствует о наличии мелкозернистой слюды, что подтверждается ростом доли слюдистых минералов в рентген-дифракционной картине (с 6 % до 14 %). Появление хлорита, минералов КППШ и группы плагиоклазов связано с уменьшением содержания кварца, что подчеркивает то, что кварц в образце крупнозернистый и дезинтегратор может его отделить. Почти в два раза (с 22 % до 41 %) зафиксировано повышение содержания каолинита. Колебание содержания оксида фосфора незначительно (0,08 % и 0,05 %).

Образец ЛК-Н-10

В минеральном составе исходного образца, помимо уже ранее встречавшихся минералов (хлоритов, каолинита, кварца, гетита), встречен анальцит и кальцит. В результате дезинтеграции исключен кварц с размерами зерен крупнее 0,044 мм, что позволило выявить по данным рентген-дифракционного анализа присутствие мелких зерен кальцита и повысить долю смектита. Анализы XRF показали увеличение содержания оксидов железа и кальция, в то время как концентрация кремнезема снизилась. В процессе дезинтеграции резко уменьшилось содержание каолинита (с 16 % до 3 %) и хлорита (с 9 % до 1 %). На основании минералогических и химических данных можно заключить, что данная глина преимущественно состоит из смектитовых минералов, а содержание кальцита и гетита существенно, тогда как каолинит практически отсутствует. Колебание содержания оксида фосфора незначительно (0,05 % и 0,09 %).

Результаты и обсуждение

На восточном борту рекультивированного карьера Юго-Восточного участка Лукошкинского месторождения толща глин (образец ЛК-5) содержит крупнозернистый кварц, иногда в рубашках гетитового состава, что подтверждает гранулометрический анализ фракций, полученных в процессе дезинтеграции (фракций 2+ мм (5 %) и фракций 2-0,044 мм (41 %)). Из исходного образца массой 8,15 кг искомого «продуктивного» вещества (класс <0,044 мм) после обогащения дезинтегратором получили 4,8 кг (60,5 % исходного веса). Метод мог бы быть рекомендован к обогащению данной толщи, так как на выходе после дезинтеграции мы получаем чистый каолинит с малым содержанием железа и высокоэффективным отделением кварца.

На Юго-Западном участке Лукошкинского месторождения верхняя толща глин (толща 1, образец ЛК-Н-3) содержит крупнозернистый кварц в рубашках железистых минералов, что подтверждает гранулометрический анализ фракций, полученных в процессе дезинтеграции (фракций 2+ мм (1,1 %) и фракций 2-0,044 мм (38,3 %)). Из исходного образца массой 8,962 кг искомого «продуктивного» вещества (класс <0,044 мм) после обогащения дезинтегратором получили почти 5,4 кг (59,8 % исходного веса). Метод дезинтеграции может быть рекомендован к обогащению данной толщи, так как на выходе после дезинтеграции мы получаем чистый каолинит с малым содержанием железа и высокоэффективным отделением кварца.

Кварц второй толщи глин (образец ЛК-Н-6) представлен чистыми (белыми) зернами без оторочек. Из исходного образца массой 9,234 кг искомого «продуктивного» вещества (класс <0,044 мм) после обогащения дезинтегратором получили почти 6,01 кг (65,1 % исходного веса). Оставшийся материал (фракция 2+ мм (0,6 %) и фракция 2-0,044 мм (34,7 %)). Метод дезинтеграции помог убрать крупнозернистый кварц, однако достаточного обогащения каолинитом данной толщи не произошло из-за высокого содержания мелких (размерность менее 0,044 мм) пластинок слюдяных минералов, а также наличия мелкозернистого до алевритистого размеров зерен хлорита и сидерита.

Толща 3 (образец ЛК-Н-8) содержит сростки крупнозернистого кварца с глинистым цементом, что подтверждает гранулометрический анализ фракций, полученных в процессе дезинтеграции (фракций 2+ мм (0,9 %) и фракций 2-0,044 мм (28,9 %)). Из исходного образца массой 7,856 кг искомого «продуктивного» вещества (класс <0,044 мм) после обогащения дезинтегратором получили 5,34 кг (70,3 % исходного веса). Метод дезинтеграции может быть рекомендован к обогащению данной толщи, так как на выходе после дезинтеграции мы получаем чистый каолинит с малым содержанием железа и высокоэффективным отделением кварца.

Неогеновый суглинок, который идет в отвал (образец ЛК-Н-10) содержит мелкозернистый кварц, который тяжело убрать методом дезинтеграции. Гранулометрический анализ фракций 2+ мм (0,23 %) и 2-0,044 мм (28,6 %) это подтверждает. Из исходного образца массой 4,194 кг искомого «продуктивного» вещества (класс <0,044 мм) после обогащения дезинтегратором получили 2,98 кг (71,1 % исходного веса). Более того, после применения метода содержание каолинита упало в 4 раза, что негативно повлияло на возможность практического применения

данных суглинков в керамической промышленности. Метод дезинтеграции оказался не эффективным в данном случае.

Подводя итог, метод дезинтеграции для проб с Лукошкинского месторождения оказался достаточно эффективным. К положительным сторонам можно отнести очищение проб от фракции 2+ мм, хотя ее содержание в данных глинах составляет менее 5 %. В процессе оттирки в соотношении 1:3 были выделены фракции 2-0,044 мм и менее 0,044 мм. На выходе после процесса дезинтеграции получается, что нужная нам фракция глины составляет от 60 % (ЛК-5) до 71 % (ЛК-Н-8). Данный метод позволил эффективно убрать крупноразмерные частицы, которые снижают качество конечной продукции, однако не позволил убрать вредную примесь оксида фосфора, который может быть, как и включен в состав гетита и слюды, так и давать свои собственные минералы, которые не могут быть очищены дезинтегратором из-за размера своих частиц.

Интересна закономерность изменений содержаний оксида железа. На основании гранулометрического анализа наблюдается две формы оксида железа: лимонитовые корочки на кварцевых зернах и более мелкие зерна лимонит-гетита. Значительный рост содержания оксида железа после дезинтеграции при одновременном стабильном уровне гетита указывает на железо в структурных позиции в глинистых минералах.

Уменьшения содержаний кремнезема в результате дезинтеграции, привело к выявлению слюдистых минералов (из-за превышения порога обнаружения) и получить материал для дальнейшей классификации минеральных агрегатов.

В целом, применение дезинтегратора для глинистых пород Лукошкинского месторождения способствовало значительному повышению содержания каолиновой глины – в 3,5 раза, а сама глина стала более очищенной. Вычищение проб от кварца происходит значительно лучше в образцах, где кварц представлен крупнозернистыми агрегатами.

Заключение

Анализ рентгенфлюоресцентного исследования показал, что после дезинтеграции во всех образцах происходит снижение содержания кремнезема, что свидетельствует об эффективности метода для очистки глин Лукошкинского месторождения.

XRD подтверждает уменьшение количества кварца (и в ряде случаев, серьезное уменьшение содержание железа), что положительно влияет на качество глин. В некоторых образцах заметно увеличивается содержание слюды. В отдельных случаях эффективность метода была ниже, например, у образца ЛК-Н-6, где наблюдалось минимальное изменение состава. По всей видимости из-за тонкости зерен всех минеральных фаз.

Метод не позволил решить проблему с исключением вредной примеси оксида фосфора во всех толщах, кроме первой.

Обработка глин Лукошкинского месторождения методом дезинтеграции доказала свою способность улучшить качество исходных пород из двух продуктивных толщ (№ 1 и № 2), где преобладают каолиновые глины и крупнозернистый кварц.

На третьей толще эффективность оценивается как средняя. В случае с третьей толщей из-за обилия слюдистых минералов, иллита и малого количества крупнозернистого кварца.

Неоплейстоценовые суглинки вскрышных пород содержат более сложный состав: содержание каолинита не превышает 12 % и почти такое же количество хлорита, слюды и смектита. Метод обогащения привел к резкому увеличению до 46 % количества смектита, что требует дополнительных исследований по возможному использованию этих пород.

Литература

1. Крайнов А.В., Дмитриев Д.А. Характеристика вещественного состава и строения глинистых пород аптского яруса (Липецкая область, Елецкий район). *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2010;(1):296-299.

2. Крайнов А.В., Дмитриев Д.А. Керамические глины кайнозоя Центрально-Черноземного района. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2019;(2):81-87.
3. Крайнов А.В. Геология и минерагения керамических и огнеупорных глин аптского яруса Воронежской антеклизы. М.: [б.и.]; 2016. 131 с.
4. Савко А.Д., Новиков В.М., Крайнов А.В. Особенности минерального состава аптских глин Воронежской антеклизы. В кн.: Минеральные индикаторы литогенеза: Материалы Российского совещания с международным участием. Сыктывкар: Геопринт; 2011:229-231.
5. Андреенков В.В. Аптские керамические глины Липецкой области. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2000;10(5):148-158.
6. Крайнов А.В. Вещественный состав керамических глин аптского яруса северной части ЦЧЭР. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2015;(2):31-36.
7. Крайнов А.В. Литология и фации аптских отложений северной части ЦЧЭР в связи с поисками керамических глин. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2015;(1):29-40.
8. Савко А.Д., Новиков В.М., Крайнов А.В., Давыдов Д.Н., Ратников В.Ю. Минерагения аптских отложений Воронежской антеклизы. Статья 1. Огнеупорные и керамические глины. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2011;(2):116-136.
9. Савко А.Д. Минералого-генетическая характеристика аптских глин северного склона Воронежской антеклизы. В кн.: Литология и стратиграфия осадочного чехла Воронежской антеклизы. Вып. 4. Воронеж; 1977:3-10.
10. Семенов В.Ф. К минералогии аптских глин Липецкой области. В кн.: Геологический сборник. Труды ВГУ. Воронеж; 1963;62:158-166.
11. Савко А.Д. Историческая геология: учебное пособие. Воронеж: Воронежский государственный университет; 2006. 450 с.
12. Неверов И.А., Орешкин В.П. Отчет о поисково-разведочных работах на Лукошкинском месторождении тугоплавких глин и железных руд, проведенных в 1963–65 гг. Липецк; 1965.
13. Крайнов А.В., Татьянченко Т.В. Аптские глины континентальных и прибрежно-морских обстановок на примере Большекарповского и Лукошкинского месторождений. В кн.: Материалы Всероссийского совещания, посвященного 100-летию основателя Ленинградской литологической школы Льва Борисовича Рухина. Санкт-Петербург; 2012;1:209-211.
14. Крайнов А.В. Сравнительная характеристика аптских глин континентальных и прибрежно-морских обстановок на примере Большекарповского и Лукошкинского месторождений. В кн.: Актуальные проблемы геологии, прогноза, поисков и оценки месторождений твердых полезных ископаемых: Материалы Международной научно-практической конференции (17–23 сент. 2012 г., Симферополь–Судак). К.: Академперіодика; 2012:106-108.
15. Словогородский С.А. Определение возможности обогащения глин флангов Лукошкинского месторождения керамических глин Липецкой области методом дезинтеграции. В кн.: Геология в развивающемся мире: Сборник научных трудов по материалам XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Пермь: Изд-во ПГНИУ; 2018:24-29.

References

1. Kraynov A.V., Dmitriev D.A. Characteristics of the material composition and structure of clayey rocks of the Aptian stage (Lipetsk region, Yelets district). *Vestnik of Voronezh State University. Series: Geology*. 2010;(1):296–299 (in Russian).
2. Kraynov A.V., Dmitriev D.A. Cenozoic ceramic clays of the Central Black Earth Region. *Vestnik of Voronezh State University. Series: Geology*. 2019;(2):81–87 (in Russian).
3. Kraynov A.V. *Geology and minerageny of ceramic and refractory clays of the Aptian stage of the Voronezh anteklise*. Moscow; 2016:131 (in Russian).
4. Savko A.D., Novikov V.M., Kraynov A.V. Features of the mineral composition of Aptian clays of the Voronezh anteklise. In: *Mineral indicators of lithogenesis: Proceedings of the Russian meeting with international participation*. Syktivkar: Geoprint; 2011:229–231 (in Russian).
5. Andreenkov V.V. Aptian ceramic clays of the Lipetsk region. *Vestnik of Voronezh State University. Series: Geology*. 2000;10(5):148–158 (in Russian).

6. Kraynov A.V. Material composition of ceramic clays of the Aptian stage of the northern part of the Central Black Earth Region. *Vestnik of Voronezh State University. Series: Geology*. 2015;(2):31–36 (in Russian).
7. Kraynov A.V. Lithology and facies of the Aptian deposits of the northern part of the Central Black Earth Region in relation to the prospecting for ceramic clays. *Vestnik of Voronezh State University. Series: Geology*. 2015;(1):29–40 (in Russian).
8. Savko A.D., Novikov V.M., Kraynov A.V., et al. Minerageny of the Aptian deposits of the Voronezh antecline. Article 1. Refractory and ceramic clays. *Vestnik of Voronezh State University. Series: Geology*. 2011;(2):116–136 (in Russian).
9. Savko A.D. Mineralogical and genetic characteristics of the Aptian clays of the northern slope of the Voronezh antecline. In: *Lithology and stratigraphy of the sedimentary cover of the Voronezh antecline*. Issue 4. Voronezh; 1977:3–10 (in Russian).
10. Semenov V.F. On the mineralogy of Aptian clays of the Lipetsk region. In: *Geological collection. Proceedings of Voronezh State University*. Voronezh; 1963;62:158–166 (in Russian).
11. Savko A.D. *Historical geology: a textbook*. Voronezh: Voronezh State University; 2006:450 (in Russian).
12. Neverov I.A., Oreshkin V.P. *Report on prospecting and exploration work at the Lukoshkinskoye deposit of refractory clays and iron ores, carried out in 1963–65*. Lipetsk; 1965 (in Russian).
13. Kraynov A.V., Tat'yanchenko T.V. Aptian clays of continental and coastal-marine settings: the example of the Bolshhekarповskoye and Lukoshkinskoye deposits. In: *Proceedings of the All-Russian Conference dedicated to the 100th anniversary of the founder of the Leningrad lithological school, Lev Borisovich Rukhin*. St. Petersburg; 2012;1:209–211 (in Russian).
14. Kraynov A.V. Comparative characteristics of Aptian clays of continental and coastal-marine settings: the example of the Bolshhekarповskoye and Lukoshkinskoye deposits. In: *Actual problems of geology, forecasting, prospecting, and evaluation of solid mineral deposits: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, Sept. 17–23, 2012, Simferopol–Sudak. Kyiv: Akademperiodika; 2012:106–108 (in Russian).
15. Slovgorodsky S.A. Determination of the feasibility of enriching clays from the flanks of the Lukoshkinskoye ceramic clay deposit in the Lipetsk region by the disintegration method. In: *Geology in the developing world: Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference of students, postgraduates, and young scientists*. Perm: Publishing House of PSNRU; 2018:24–29 (in Russian).

Сведения об авторах

СЛОВОГОРОДСКИЙ Семен Андреевич – аспирант кафедры геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых геологического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, ORCID: 0009-0009-3289-476X, Researcher ID: 517630924

E-mail: slovogorodskiy@my.msu.ru

БОГУСЛАВСКИЙ Михаил Александрович – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых геологического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. ORCID: 0000-0003-0133-7185, Researcher ID: 3356995

E-mail: mboguslavskiy@yandex.ru

Author Information

Semyon A. SLOVOGORODSKIY – Postgraduate student, Department of Geology, Geochemistry, and Mineral Economics, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, ORCID: 0009-0009-3289-476X, Researcher ID: 517630924

E-mail: slovogorodskiy@my.msu.ru

Mikhail A. BOGUSLAVSKIY – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Department of Geology, Geochemistry, and Mineral Economics, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-0133-7185, Researcher ID: 3356995

E-mail: mboguslavskiy@yandex.ru

Вклад авторов

Словгородский С.А. – разработка концепции, проведение статистического анализа, проведение исследования, визуализация.

Богуславский М.А. – методология, руководство исследованием.

Authors' contribution

Semyon A. Slovogorodskiy – conceptualization, formal analysis, investigation, visualization.

Mikhail A. Boguslavskiy – methodology, supervision.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 06.04.2026

Поступила после рецензирования / Revised 15.05.2026

Принята к публикации / Accepted 22.06.2026