

УДК 553.612

ВТОРИЧНЫЕ КАОЛИНЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО ДЕВОНСКОГО ПОЛЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ЕГО ПРЕДЕЛАХ

© 2022 г. А. Д. Савко^а, С. В. Мануковский^а, Н. М. Боева^{б, *}, А. В. Крайнов^а, А. В. Милаш^а

^аВоронежский государственный университет, Университетская площадь, д. 1, Воронеж, 394006 Россия

^бИнститут геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Старомонетный пер., 35, Москва, 119017 Россия

*e-mail: boeva@igem.ru

Поступила в редакцию 18.01.2022 г.

После доработки 20.03.2022 г.

Принята к публикации 15.04.2022 г.

Вторичные каолины в отложениях верхнего девона развиты на юге Воронежской антеклизы в пределах тектонической депрессии и образованы в результате размыва коры выветривания на докембрийских кристаллических породах. При этом сформировалась мамонская песчано-каолиновая толща (ПКТ), в которой каолины переслаиваются с кварцевыми, в том числе каолинистыми, песками. Таким образом, она представляет собой комплексное минеральное сырье. ПКТ развита на территории около 30000 км², имеет мощность от 10 до первых сотен метров. Выделяются три зоны ее развития – Западная, Центральная и Восточная. Наиболее благоприятна для поисков каолинов Центральная зона, где ПКТ залегает вблизи дневной поверхности по долинам рек, в том числе Дона. При неглубоком залегании толща может разрабатываться открытым способом, в случаях большой мощности вскрыши – гидроскважинным. Приводится описание крупного месторождения каолинов и кварцевых песков Козынка, дан прогноз на поиски в ПКТ новых месторождений такого типа.

Ключевые слова: каолин, песчано-каолиновая мамонская толща, кора выветривания, фации, кварцевые пески

DOI: 10.31857/S0016777022050100

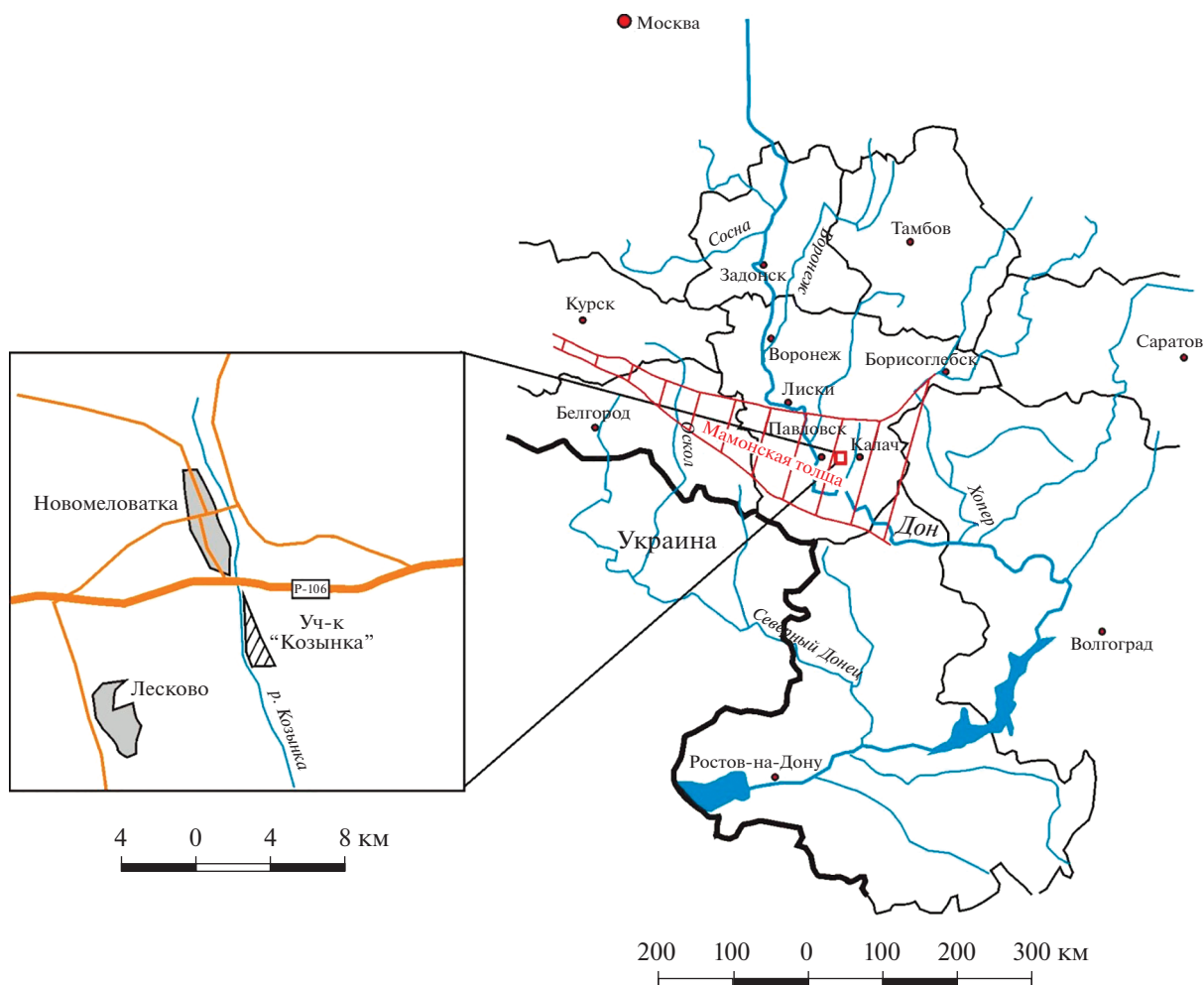
ВВЕДЕНИЕ

Первичные, вторичные каолины и кварцево-каолиновые смеси являются важнейшим неметаллическим сырьем, широко применяются в бумажной, керамической, резиновой промышленности, строй-индустрии, производстве полимеров, красок, а также других материалов и изделий. Основной объем каолина используется в бумажной промышленности и при изготовлении керамики. По данным Минприроды, запасы керамического сырья в стране сокращаются, особенно дефицитными являются его огнеупорные и тугоплавкие разновидности (Горбачев, Красникова, 2015; Андреенков, Савко, 2003).

Основным сырьем для керамической промышленности является каолин, обычно образующийся в корах выветривания (КВ) и отложениях, сформированных за счет их размыва. Такие условия возникают при континентальных перерывах, связанных с образованием и последующим размывом КВ. В этом плане значительный интерес представляет песчано-каолиновая мамонская толща (ПКТ) верхнедевонского возраста, по-

скольку вмещает вторичные каолины и различные по гранулометрическому составу кварцевые пески, в том числе каолинистосодержащие, представляющие каолинит-кварцевые смеси. Толща развита на юге Воронежской, востоке Белгородской, севере Ростовской и северо-западе Волгоградской областей (фиг. 1). Породы этой толщи слагали источники сноса при формировании месторождений огнеупорных и керамических глин аптского возраста в северной части Воронежской антеклизы (Савко и др., 2011; Савко, Крайнов, 2015; Vortnikov et al., 2013, 2016; Крайнов, 2016).

Гравийно-песчаная часть толщи представляет крайне дефицитный в Центрально-Черноземном районе (ЦЧР) материал в связи с широко развернувшимся строительством жилья, промышленных сооружений, автомобильных и железных дорог. Породы ПКТ являются комплексным сырьем, поскольку при гидроклассификации возможно извлечение не только каолина, но и песков различного гранулометрического состава и назначения, в том числе, стекольных, крайне дефицитных в ЦЧР. Из глинистых песков и алевритов этим же способом возможно получение обогащенного каолина.



Фиг. 1. Схема распространения мамонской толщи и положения месторождения “Козынка”.

МЕТОДИКА РАБОТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

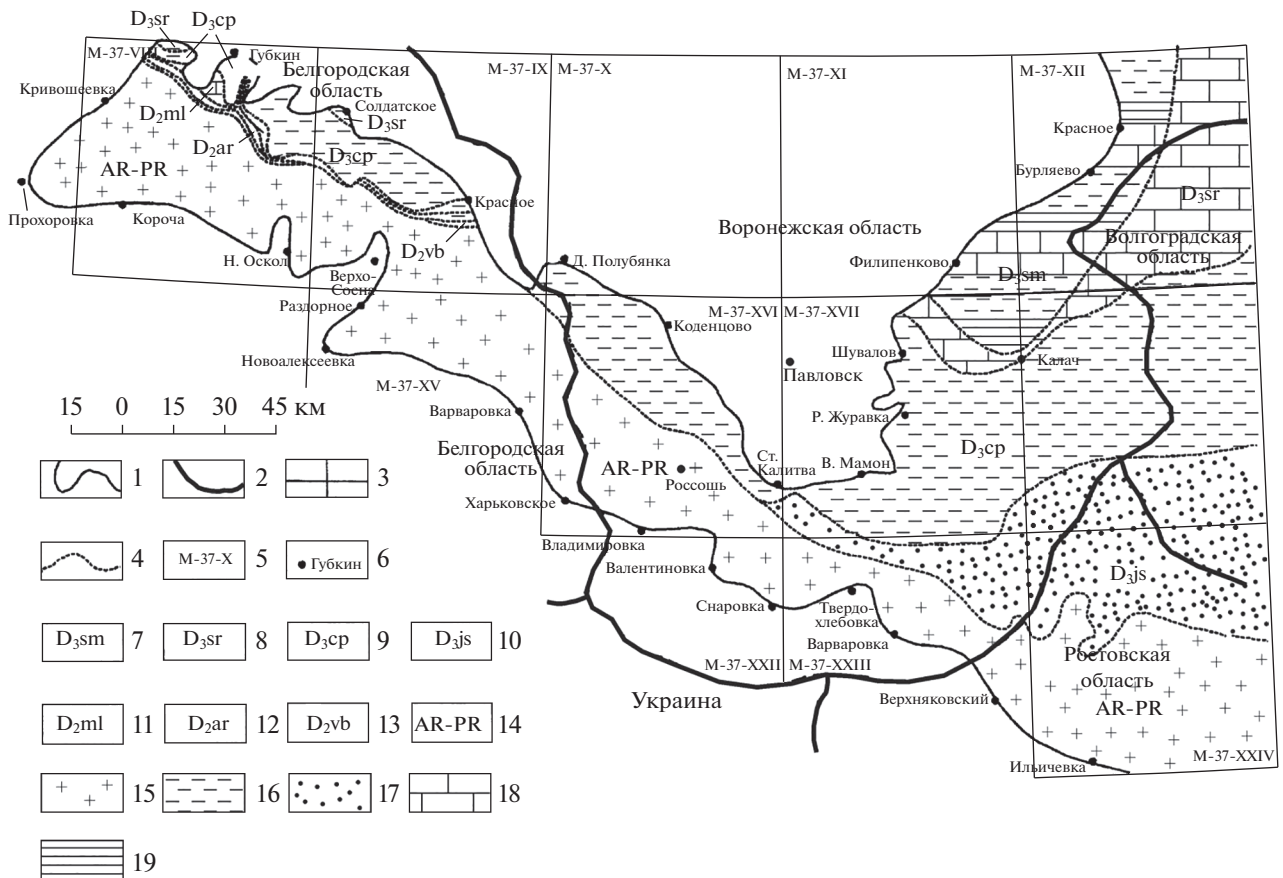
Настоящая работа базируется на основе значительного и разнообразного фактического материала для установления не только палеогеографических, структурно-тектонических, вещественных и литолого-фациальных особенностей формирования исследуемых отложений, но и выявления среди них перспективных участков на нерудные полезные ископаемые: каолины, стекольные пески и песчано-гравийные смеси.

Были проведены полевые исследования, использован керновый материал для различных видов анализов. В целом с различной степенью детальности проанализированы геологические разрезы, построенные по материалам из более 600 скважин. Изучение вещественного состава пород для выявления их литологических разновидностей проводилось при документации керна скважин. Особое внимание уделялось загрязняющим каолины примесям: наличию минералов тяжелой

фракции, окрашивающим оксидам железа, степени засоренности глин кварцевыми зернами. Это имеет важное значение для разработки способов обогащения каолинов. В процессе изучения вещественного состава глин были использованы методы: электронно-микроскопический – СЭМ, CamScan-4 “Cambridge” и TESCAN VEGA IXMU “Tescan”; рентгенофазовый – “ARL X’TRA”. Эти методы позволили помимо каолинита определить наличие и количество иллита, монтмориллонита, минералов железа. Кроме того, изучалась степень совершенства кристаллической структуры каолинита, оказывающая влияние на керамические свойства сырья. Аналитические работы проводились в лабораториях ВГУ, ИГЕМ РАН, ЦНИГРИ и ВИМС.

ГЕОЛОГИЯ МАМОНСКОЙ ПЕСЧАНО-КАОЛИНОВОЙ ТОЛЩИ

ПКТ расположена в южной части Центрального девонского поля, на юге Воронежской ан-



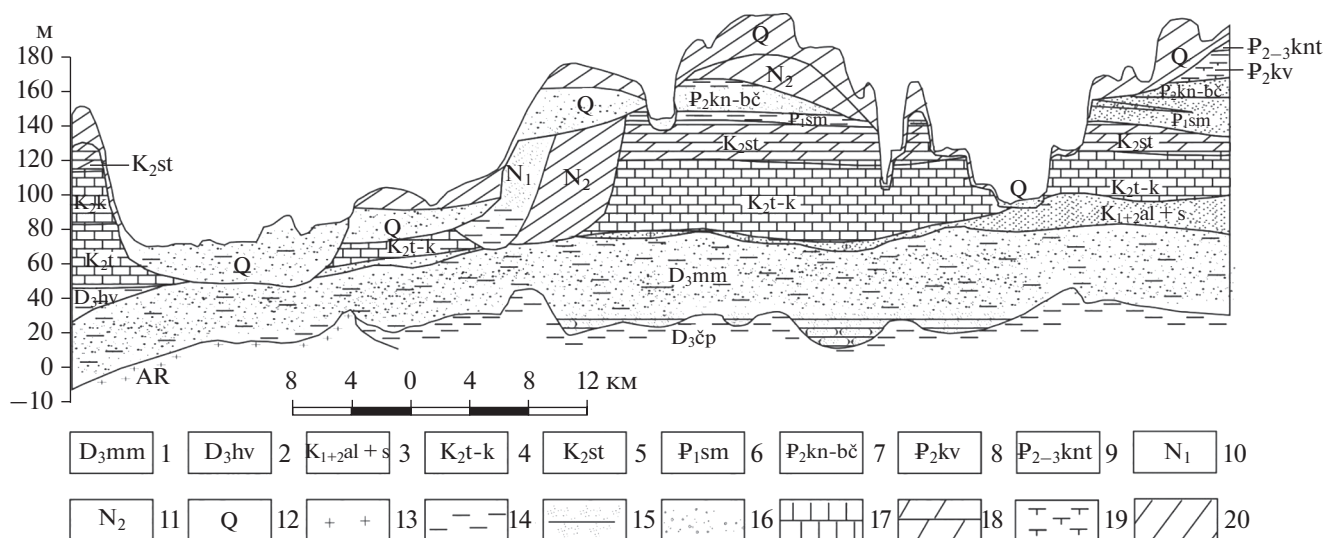
Фиг. 2. Схема залегания мамонской толщи на подстилающих образованиях. Границы: 1 – ее развития, 2 – административные областные, 3 – листов масштаба 1 : 200000, 4 – геологических подразделений; 5 – номенклатура листов, 6 – населенные пункты; 7–14 – геологические индексы: 7 – семилюкских, 8 – саргаевских, 9 – чаплыгинских, 10 – ястребовских, 11 – муллинских, 12 – ардатовских, 13 – воробьевских, 14 – докембрийских пород; 15 – граниты, 16 – глины, 17 – пески, 18 – известняки, 19 – аргиллиты

теклизы (ВА). Последняя представляет собой крупную положительную структуру в центре Восточно-Европейской платформы, имеет крутые юго-западный и юго-восточный, и пологие северо-западный и северо-восточный склоны. Толща с размывом залегает на КВ кристаллического фундамента и различных по составу осадочных породах эйфельско-среднефранского возраста (фиг. 2), перекрывается верхнефранскими и залегающими на них каменноугольными, меловыми, палеогеновыми, неогеновыми и четвертичными образованиями (фиг. 3).

Впервые мамонская ПКТ как самостоятельное геологическое тело выделена А.А. Дубянским (1940) и названа “мамонскими слоями”. Термин “мамонская толща” ввел Д.Н. Утехин (1962), датируя ее возраст от раннефранского до озерского. Палинологические исследования девонских отложений Воронежской антеклизы позволили Л.Г. Раскатовой (1966, 1973) установить возрастные границы формирования ПКТ и расчленить ее на восточном склоне антеклизы до горизонтов.

Нижняя граница толщи вначале была определена ею как воронежский горизонт, а затем “опущена” до петинского. На современном этапе возрастные границы мамонской толщи принимаются по этому автору так: начало формирования – петинское, окончание – кудеяровское время (D_3f_3 -fm₃).

ПКТ образовалась за счет размыва и переотложения вещества КВ кварц-каолинового состава на различных по составу породах кристаллического фундамента и, в меньшей степени, осадочных отложений живетского и франского ярусов (Савко и др., 2008). Площадь распространения была разделена на два участка – Западный и Восточный. Первый тянется от пограничных районов Курской и Белгородской областей до с. В. Мамон Воронежской области в виде полосы длиной 280 и шириной от 25 до 60 км. Он приурочен к юго-западному склону антеклизы и отстоит от ее оси на 20–40 км к юго-западу. Второй участок располагается к востоку от долготы с. В. Мамон. Ширина зоны с запада на восток (по паде-



Фиг. 3. Разрез мамонской толщи по линии Дон–Меловатка. 1–12 – стратиграфические подразделения: 1 – мамонская толща, 2 – хованский горизонт, 3 – альбский и сеноманский, 4 – туронский и коньякский, 5 – сантонский ярусы, 6 – сумская серия, 7 – каневская–бучакская, 8 – киевская, 9 – кантемировская свиты, 10 – миоцен, 11 – плиоцен, 12 – четвертичная система; 13–20 – породы: 13 – граниты, 14 – глины, 15 – песчаники, 16 – пески, 17 – мел, 18 – мергель, 19 – известковистые глины, 20 – суглинки.

нию склона антеклизы) – свыше 110 км, длина выхода (с юга на север) вдоль склона – 200 км.

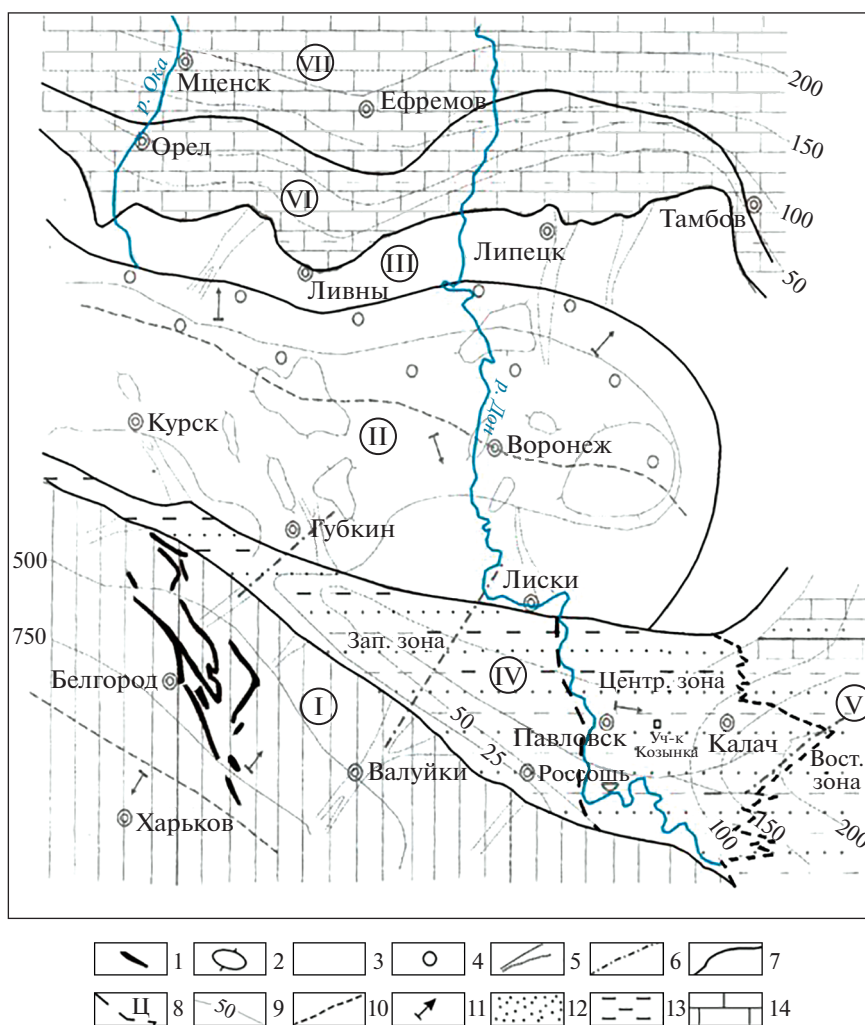
ПКТ развита на общей площади около 30 тыс. км². Ее образования выполняют крупную эрозионно-тектоническую депрессию, заложенную в начале франского века на юге Воронежской антеклизы. В течение фамена, отвечающего за завершающий регрессивный цикл девонского осадконакопления, происходило поднятие территории Воронежской антеклизы и формирование позднедевонской поверхности выравнивания. Морской бассейн сохранился только в северной части антеклизы, в то время как ее центральная и южная части представляли континент.

На юго-западе рассматриваемой территории на палеогеоморфологической схеме (фиг. 4) выделяется остаточный пенеплен допозднерифейского возраста, о чем свидетельствует наличие КВ этого времени (Савко, 1979). Он сложен кристаллическими породами и здесь проходил главный водораздел, который разделял бассейны морей на территориях Московской синеклизы и Днепровско-Донецкой впадины. К северу от остаточной дорифейской поверхности располагалась денудационная равнина, отделенная от первой эрозионно-структурной депрессией, выполненной ПКТ. Эта равнина занимает наибольшую площадь и расположена в центральной части антеклизы. Здесь отмечается еще один водораздел, отделяющий морской бассейн Московской синеклизы от аллювиальной равнины в пределах эрозионно-структурной депрессии. Севернее от водораздела

крыло денудационной равнины пологое, южное – более крутое. С северной части равнины снос терригенного материала был незначителен, что подтверждает наличие карбонатных пород в лагунно-морских и прибрежно-морских отложениях позднего фамена. В то же время с южного крыла на аллювиальную равнину терригенный материал сносился в больших количествах, поскольку здесь в источнике сноса преобладали терригенные франские породы и КВ по ним.

На фиг. 4 в пределах денудационной равнины выделяются пологие куполовидные поднятия (20 × 30 км), выявленные по картам изогипс подошвы отложений фаменского яруса (Савко и др., 2008). Предполагаемые русла палеорек, приуроченные к тектоническим зонам, фиксируются по относительно повышенному содержанию обломочного материала в аллювиальных фациях. На северном крыле по перепаду палеовысот отмечается тектонический уступ, который отделяет пониженную часть северного крыла от повышенной водораздельной.

Эрозионно-тектоническая депрессия, выполненная мамонскими делювиально-пролювиально-аллювиальными отложениями, протягивается с запада-северо-запада на восток-юго-восток от Нового Оскола до линии Мигулинская–Новохоперск, восточнее которой континентальные образования сменяются морскими. Переход песчано-каолиновой толщи в нормально-морские отложения осуществлялся через лагунные фации, близкие по составу к аллювиальным, но отличающиеся от них мелкозернистостью, лучшей сорти-



Фиг. 4. Схематическая литолого-палеогеоморфологическая карта позднефранского-фаменского времени. Морфогеолиз рельефа (римскими цифрами): I – пенеплен слабоэрозионный, равнины: II – эрозионно-денудационная, III – прибрежно-морская денудационно-аккумулятивная, IV – аллювиальная, V – дельтово-лагунная, VI – прибрежно-морская, VII – мелководно-морская. Элементы рельефа: 1 – гряды и останцы литолого-структурные, 2 – поднятия, 3 – области размыва, 4 – карстовые полости, 5 – речные долины, 6 – разломы; 7 – границы распространения равнин; 8 – зоны мамонской толщи: З – Западная, Ц – Центральная, В – Восточная; 9 – изопакиты позднефранских-фаменских отложений; 10 – линия водораздела; 11 – направление сноса. Породы: 12 – пески, алевриты, 13 – глины, 14 – карбонаты.

ровкой, наличием тонкоотмученных глин и горизонтальной слоистостью. Среди кварцево-каолиновых пород появляются известняки, количество которых быстро нарастает к востоку и северу. Одновременно происходит выклинивание песков и алевритов, что приводит к преобладанию в терригенной части разреза глин.

В северной и северо-восточной частях антеклизы отмечаются субаквальные аккумулятивные формы рельефа (лагунно-морская и прибрежно-морская равнины). Они сложены карбонатными породами – известняками и доломитами. В лагунных фациях отмечаются глины, песчанистые доломиты и известняки. В верхней части разреза широко развиты отложения засоленной лагу-

ны, представленные гипсами и ангидритами. Общая мощность карбонатных пород фаменского яруса до 160, а вместе с франскими – до 300 м.

Кровля ПКТ обычно залегает на глубинах от первых метров в современных речных долинах до 200 м на водоразделах. Ее мощность варьирует в широких пределах (фиг. 5) и зависит от трех факторов: 1 – структурного, 2 – морфологии подошвы толщи, 3 – интенсивности постдевонских размывов. Влияние первого фактора выражается в увеличении мощности ПКТ от первых десятков до первых сотен метров от осевой части антеклизы (Павловское поднятие) по направлению на восток и юго-восток по ее склону. Второй фактор определяет возрастание мощности толщи во впа-

динах и врезках долин предмамонского рельефа. Он относительно выровненный с перепадами высот не более 20–30 м. Третий фактор влиял на уменьшение мощности ПКТ в результате ее размыва в постдевонское, и особенно в неоген-четвертичное время, когда были заложены современные речные долины. В некоторых из них наблюдаются выходы пород рассматриваемой толщи на дневную поверхность.

Полученные в последние десять лет новые материалы, с учетом имевшихся ранее, а также с точки зрения минерагенического районирования территории распространения ПКТ, позволяют выделить три зоны ее развития: Западную (Новооскольско-Россошанскую), Центральную (Мамонско-Богучарскую) и Восточную (Мигулинско-Новохоперскую). Мамонские отложения в них отличаются по составу и соотношению слагающих их пород, площадям распространения, мощностям, глубинам залегания, фаціальным особенностям, перспективам открытия месторождений каолинов. Граница между первой и второй зонами совпадает с Лосевско-Мамонской зоной разломов, по которой протекает река Дон, а между второй и третьей — с Мигулинско-Новохоперской тектонической зоной, от которой начинается резкое погружение восточного склона антеклизы.

В *Западной зоне* мамонские отложения мощностью 40–60 м залегают на КВ кристаллических пород и представлены преимущественно обломочными разностями (фиг. 4). Они залегают на неровной поверхности ложа толщи с многочисленными врезками речных долин глубиной до 20–30 м и протяженностью от нескольких до 30 км. Долины имеют V-образный облик, в них мощности ПКТ увеличены. В целом же рассматриваемая зона представляет моноклиналь, наклоненную к юго-востоку и осложненную врезками речных долин.

На основной территории (более 90% площади) этой зоны в мамонское время накапливались псаммитовые и псефитовые образования. Глинистые прослои не имели сколько-нибудь заметного развития в разрезе толщи, и их доля от общей мощности составляет первые проценты. Вместе с тем на западе зоны в разрезах ПКТ отмечаются пачки глин мощностью 6–8 м. По генезису выделяются делювиально-пролювиальные, аллювиальные и озерно-болотные отложения. Различные сочетания их в разрезах определяют 16 фаціальных зон (Савко и др., 2008). Большая пестрота пород объясняется спецификой континентальных образований, их резкой изменчивостью, вызванной невыдержанностью фаціальных обстановок.

Делювиально-пролювиальные образования представлены разнозернистыми песчаниками

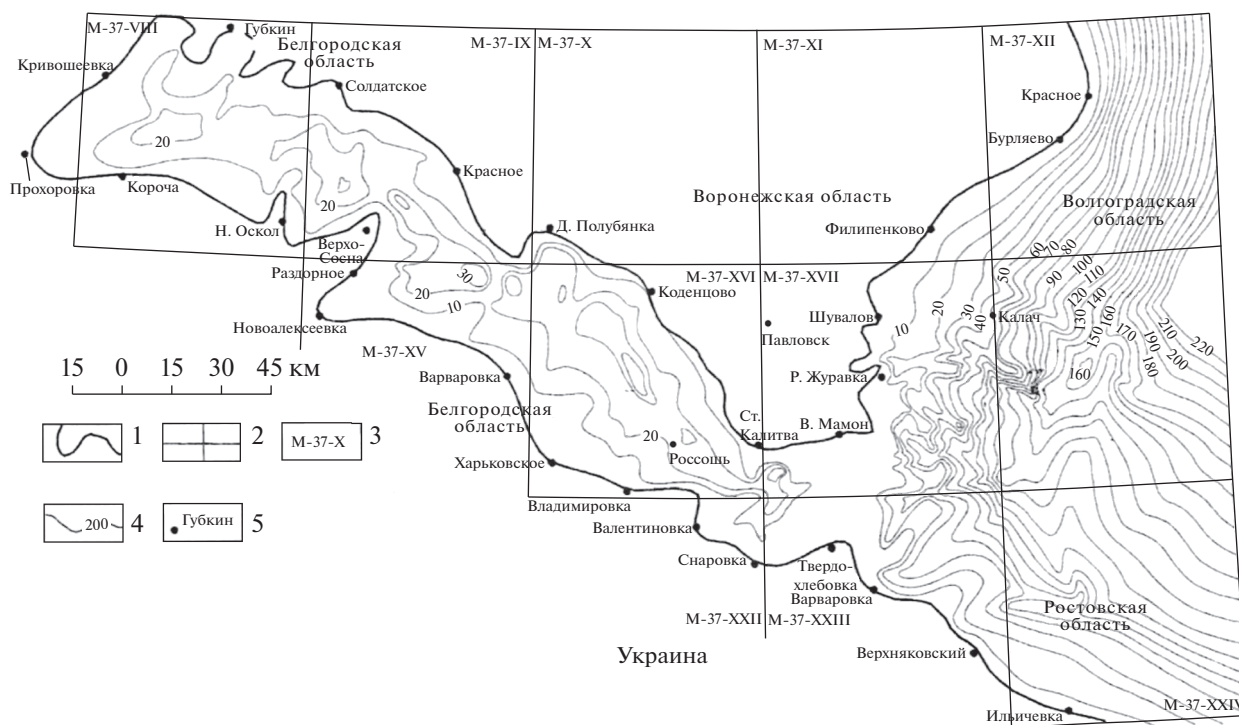
или их переслаиванием с песками. Породы плохо сортированы, от мелко- до грубозернистых, содержат примесь глинистого материала и включений кварцевой гальки. В ряде случаев наблюдается своеобразная градационная слоистость, выражающаяся в последовательной смене (снизу вверх) прослоев с преобладанием грубозернистых, затем — среднезернистых, а вверху — глинистых отложений. Такое распределение обломочного материала обусловлено одновременным его осаждением (по закону Стокса) в конусах выноса мощных временных потоков.

Многочисленность подобных процессов привела к ритмично-циклическому строению мамонской толщи на обширных площадях, где преобладали делювиальные и, в главной степени, пролювиальные условия осадконакопления. Сложение самих циклов очень разнообразное. В их основании могут залегать и гравий, и грубо-, крупнозернистые, и даже среднезернистые пески. В средней части циклов отмечаются пески (преимущественно средне-, мелкозернистые), а в кровле — пески тонкозернистые, алевриты и глины.

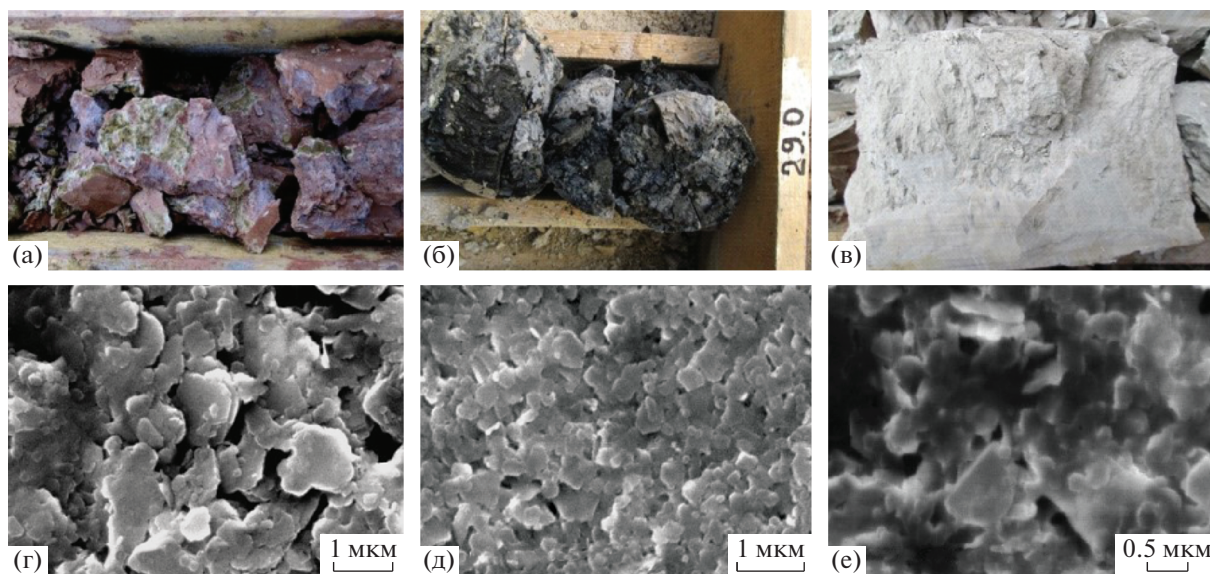
В русловых аллювиальных фациях накапливались пески (часто сцементированные затем до песчаников) серые, кварцевые, крупно- и грубозернистые, косослоистые (с углом наклона слоев 15°–30°) и линзовидно-слоистые. Нередко в песчаниках отмечается неясная горизонтальная слоистость. Породы достаточно хорошо отсортированы, почти не содержат пелитовых фракций. Количество гравия, наоборот, велико: пески гравийные, прослоями переходящие в гравелиты, в них встречаются хорошо и угловато окатанные гальки дымчатого, реже — водяно-прозрачного кварца.

Глины каолиновые, слагают аллювиальные пойменные и старичные отложения. Среди них преобладают разновидности от светло-серого до серого цветов. Они алевритистые, песчаные, с тонкими (1–2 мм) прослойками мелкозернистых кварцевых песков. В породе встречаются углефицированные автохтонные растительные остатки, иногда пиритизированные. Глины нередко жирные на ощупь, с раковистым изломом, реже — с тонкоплитчатой (2–4 мм) отдельностью, с присыпками светло-серого песка по плоскостям напластования. В плане глинистые отложения распространены на относительно больших участках, близких к изометричной форме.

Центральная зона ПКТ расположена в пределах поднятого блока, осложненного Павловским поднятием на его северо-западе (фиг. 4). В ней выявлены следующие особенности: 1 — возрастание мощности до 80–100 м (фиг. 6); 2 — увеличение количества и мощности каолиновых слоев; 3 — широкое развитие каолинистых песков; 4 —



Фиг. 5. Карта изопхит мамонской толщи. Границы: 1 – распространения мамонской толщи; 2 – листов масштаба 1 : 200000; 3 – их номенклатура, 4 – изопхиты, 5 – населенные пункты.



Фиг. 6. Электронномикроскопические снимки каолиновых глин: а, д – из пестроцветных глин в нижней части разреза (проба 2ю/6, инт. 24,6–25,1 м); б, е – из темно-серых гумусированных глин (проба 2ю/4), в, ж – серых глин в кровле (проба 2ю/1, инт. 14,3–15,3 м).

относительно неглубокое залегание отложений, вскрытых в долинах рек.

На большей части Центральной зоны отложения ПКТ подстилаются чаплыгинскими глинами, на севере карбонатными породами саргаев-

ского, а на северо-востоке семилукского горизонтов. В отдельных участках толща залегает на базальтах среднефранского возраста, а в районе п. Н. Мамона – на вулканогенно-осадочных образованиях ястребовской свиты (D_{3js}). Перекры-

вается ПКТ разновозрастными образованиями — от верхнефаменских до голоценовых. На присводовых участках антеклизы она находится под мезозойскими, а на склонах — под палеозойскими образованиями.

По литологическим особенностям, наличию перерывов, палинологическим определениям (Раскатова, 1973), толща условно разделена на четыре пачки: петинско-воронежскую, евлановско-ливенскую, задонско-елецкую, лебедянско-плавскую.

Петинско-воронежская пачка развита повсеместно в пределах поля мамонской толщи, перекрывается евлановско-ливенскими, меловыми или четвертичными отложениями. Мощность от 2–3 м на западе до 35 м на юго-востоке. В основании толщи залегают пески и песчаники кварцевые, разномерные, с прослоями конгломератов, представляющие собой пролювиально-делювиальные образования. Выше развиты глины озерно-аллювиального генезиса. Глины каолиновые аргиллитоподобные, красноцветные, латеритизированные. Они перекрыты русловым аллювием, представленным песками крупно-грубо-зернистыми, гравийными. Выше отмечается переслаивание разномерных песков и каолиновых глин.

Евлановско-ливенская пачка распространена меньше, чем петинско-воронежская. Залегают на ней с размывом, перекрывается задонско-елецкими и меловыми породами, в долине р. Мамонка — четвертичными. Мощность увеличивается в восточном направлении с 2 до 33 м. Разрез начинается конгломератами и песчаниками пролювиального генезиса с обломками конгломератовидных глин делювиального происхождения, сменяющимися выше русловыми аллювиальными песчаниками, а заканчивается чередованием аллювиальных песков и глин. Песчаники средне-крупнозернистые, кварцевые, с глинисто-карбонатным цементом. Глины серовато-голубой окраски, каолиновые, алевритистые, с остатками углефицированной флоры.

Задонско-елецкая пачка распространена в восточной части площади. Залегают на евлановско-ливенской, перекрывается на юго-востоке лебедянско-плавской пачкой, на остальной территории — меловыми и четвертичными отложениями. Мощность ее увеличивается на юго-восток с 8 до 35 м. Представлена ритмично переслаивающимися грубозернистыми русловыми песками (внизу) и песками с прослоями глин русловой и пойменно-старичной фаций (вверху). В западной части они замещаются делювиально-аллювиальными образованиями. Пески верхней части кварцевые, мелкозернистые, с гравием кварца. Глины серые, каолиновые, алевро-песчанистые, с углефицированными растительными остатками (УРО).

Лебедянско-плавская пачка распространена на юго-востоке зоны, перекрывается озерскими и меловыми отложениями, а в пойме р. Тулущевка — четвертичными. Мощность пачки увеличивается на юго-восток с 7 до 29 м. Сложена аллювиальным и аллювиально-делювиальным комплексами, в составе которых ритмично чередуются пески, песчаники и глины. Пески и глины аналогичны задонско-елецким. Песчаники кварцевые, среднезернистые, с глинистым цементом.

Следует отметить, что на различных участках соотношение между глинами и песками непостоянно, от приблизительно равного количества (1 : 1) до преобладания песков над глинами в отношении 5 : 1. Мощность отдельных прослоев сильно колеблется. Так, глины имеют мощность от первых дециметров до 23.8 м, при обычной величине в 2–3 м, прослой песков, при средней мощности 5–6 м, достигают 17.6 м.

В основании мамонской толщи на отдельных участках описываемой зоны залегают пестроцветные существенно каолиновые отложения. Пятнисто окрашенные глины каолинового состава интенсивно пропитаны гидроокислами железа. Породы сильно алевритистые, песчанистые. Пестроцветные глины (часто аргиллитоподобные) неравномерно переслаиваются с обычными, серого цвета, песками. Мощность такой “пестроцветной” пачки может превышать 15 м.

В речных долинах обычно вскрываются верхние части разрезов ПКТ, в которых практически всегда имеются слои каолинов и каолинистые пески. Вместе с тем отмечается крайняя невыдержанность по разрезу и простираению как глинистых, так и песчаных пород, их взаимное замещение на небольших расстояниях. Это создает определенные трудности при разведочных работах, вызванные повышенным объемом бурения при сгущении разведочной сети.

Характерными особенностями *Восточной зоны* являются: 1 — существенное расширение площади ее развития; 2 — увеличение глубины залегания и мощностей ПКТ; 3 — появление в ней отложений переходных и морских фаций; 4 — уменьшение количества пластов каолина, вплоть до полного их исчезновения на севере зоны (фиг. 4). Далее от нее терригенный разрез сменяется карбонатным (Огороков, Савко, 1998), а каолиновые глины вообще исчезают из разреза. Мощность мамонской толщи на всей площади зоны достаточно выдержана — 155–165 м, а глубина залегания ее кровли составляет первые сотни метров.

Разрез мамонской толщи в рассматриваемой зоне носит регрессивный характер и состоит из трех пачек. Нижняя сформировалась в прибрежно-морских условиях, в бассейне с нормальной соленостью. Она представлена переслаиванием

карбонатных глин с фауной брахиопод, остатков рыб, с включениями пиритизированных растительных остатков, сидерита и мелко-среднезернистых песчаников с глинисто-карбонатным цементом, с редкими останками рыб и включениями пирита.

Средняя пачка накапливалась в переменных фациальных обстановках — континентальных и переходных. В периоды изоляции морского бассейна, когда он отшнуровывался от открытого моря, происходило распреснение его вод и формирование пестроцветных глин в относительно глубоководных лагунах. При еще большей регрессии, в условиях отступления лагун, преобладали континентальные условия осадконакопления: отлагались разнозернистые каолинизированные пески и песчаники.

В конце мамонского времени полностью господствовали континентальные фациальные обстановки. Верхняя пачка представляет собой толщу неравномерного переслаивания разнозернистых песчаников и каолинистых глин. Песчаники белые, светло-серые, тонко-, мелкозернистые, слабо сцементированы каолинитом, содержат прослойки грубозернистых до гравелистых разностей. Линзы и прослойки каолинистых глин имеют мощности от десятка сантиметров до 7 м. Общая мощность верхней пачки до 17 м. Большая глубина залегания ПКТ позволяет применять гидроскважинный метод добычи минерального сырья.

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ГЛИН

Изучение глинистых пород показало, что по данным электронной микроскопии для каолинита из пестроцветных глин нижней части мамонской толщи (фиг. ба, д) размер частиц каолинита колеблется от 0.2–0.3 мкм до 2.0×3.5 мкм, обычно менее 1 мкм. Гексагональные грани, характерные для неизмененного (первичного) каолинита КВ, встречаются редко. Пластинчатые частички минерала повсеместно имеют сглаженные (“обломанные”) в процессе переноса и вторичного переотложения формы. Грани пластинок обычно имеют неровные контуры, часто с волнистыми корродированными краями.

В темно-серых гумусированных глинах преобладают частицы размером 0.3–0.45 мкм (фиг. бб, е). Наряду с “окатанными” и бесформенными пластинками минерала отмечается значительное количество кристаллов с характерным габитусом в виде целых шестиугольных табличек (фиг. бв, ж). Это может быть объяснено новообразованием каолинита в озерно-болотных условиях, как это показано в работе (Bortnikov et al., 2013).

В наиболее распространенных светло-серых каолинах размер частиц каолинита обычно меньше 1 мкм при их толщине в сотые доли мкм. Та-

кие размеры определяют низкую и среднюю степень дисперсности породы. Кристаллы с гексагональным габитусом практически отсутствуют, изредка в пластинках отмечается одна-две грани минерала. Все это свидетельствует о преобладающих процессах дробления и измельчения кристаллов каолинита при переносе их из КВ к бассейнам седиментации.

По результатам рентгенофазового анализа глинистой фракции <0.005 мм, содержание каолинита в ней составляет 98.5–99.5%. Лишь в одной пробе, относящейся к разновидности пестроцветных глин, 1.5% приходится на иллит, в остальных пробах содержание доли иллита среди глинистых минералов еще меньше — около 0.5%. Во всех случаях на дифрактограммах отмечается присутствие тонкодисперсного кварца. В окрашенных глинах фиксируются рефлексы лепидокрокита, гетита, гематита.

Вблизи южных границ распространения мамонской толщи, где она залегает на КВ кристаллического фундамента, каолинит обладает довольно совершенной структурой: на большинстве дифрактограмм разрешен дублет, которому соответствуют межплоскостные расстояния 4.18 и 4.13 Å (Савко и др., 2008). Но уже в районе месторождения Козынка, на удалении 60 км от источника сноса, на кривых каолинита дублет разрешен только на очень малой части дифрактограмм. В подавляющем же большинстве случаев рефлексов серии *hk* не наблюдается, а каолинит диагностируется обычно по отражениям 001 и 002 с интенсивностью 100 и 70%, что свидетельствует о невысокой степени совершенства кристаллической структуры минерала и подтверждается невысоким значением индекса Хинкли (0.25–0.4). Этот вывод имеет важное значение, поскольку каолинит с неупорядоченной структурой имеет пониженные температуры плавления и повышенный интервал спекаемости, что благоприятно сказывается на качестве и стоимости керамических изделий.

ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЗОНА ПКТ

Проведенными ранее литолого-фациальными исследованиями весьма сложной полигенетической ПКТ показано, что наиболее благоприятной для прогноза месторождений каолинов является Центральная зона. В ее пределах интенсивный эпейрогенез Павловского поднятия в девонское и постдевонское время привел к тому, что залегающая на его юго-восточном и восточном склонах мамонская толща оказалась высоко приподнятой и перекрывающие ее верхнедевонские образования в меловой период были размывы. Неотектонические поднятия процесс размыва усилили еще больше. Меловые отложения были прорезаны руслами рек, и кровля песчано-каолиновой



Фиг. 7. Пойма р. Козынка на площади проведения поисково-оценочных работ категорий C_1 и C_2 на месторождении “Козынка”.

толщи в долинах Дона и его притоков оказалась перекрыта только четвертичными аллювиальными образованиями. Именно в этом районе выделены перспективные на каолины три участка (площади) – Четвериково, Старомеловой и Северный. На них каолины и каолиновые пески составляют до 50% разреза, а мощность вскрыши не более 20 м. Наиболее перспективной является неглубоко залегающая верхняя часть ПКТ, представленная континентальным комплексом пролювиально-делювиальных, аллювиальных и озерно-болотных образований, где отмечаются относительно мощные пласты глин и каолинистых песков. Позднее в пределах участка Северный было разведано месторождение Козынка, характеристика которого приводится ниже.

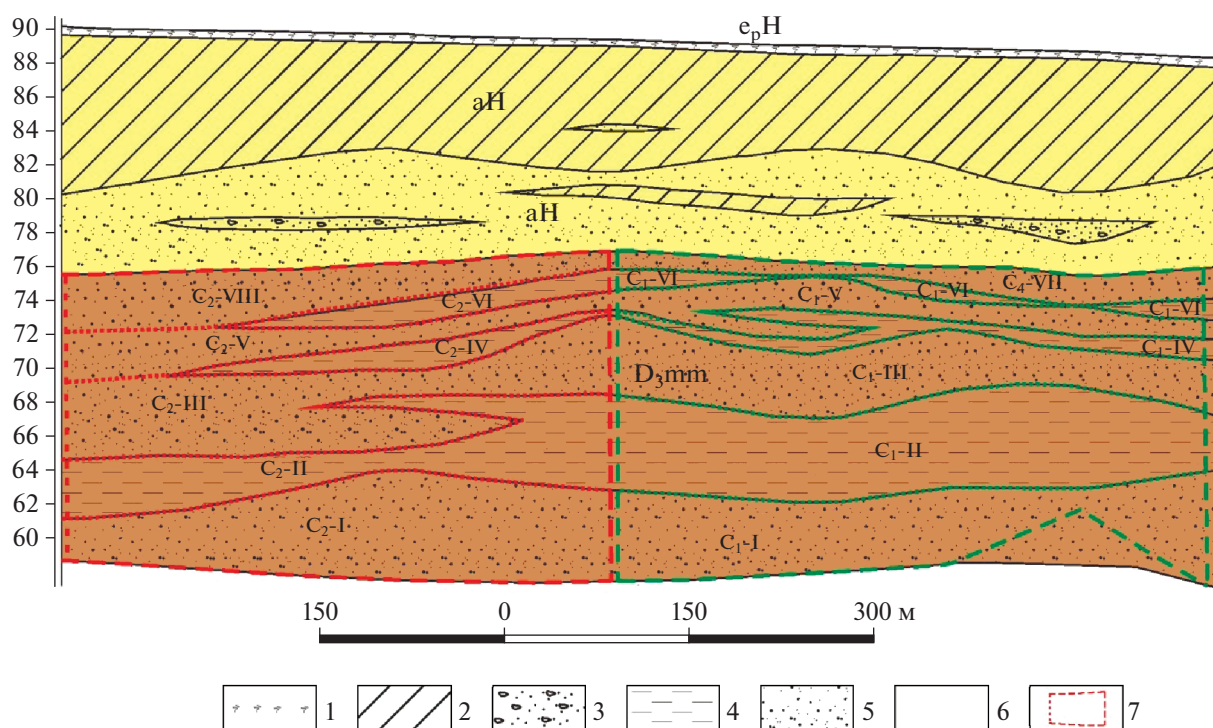
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ “КОЗЫНКА”

Месторождение расположено в пойме незащитой хозяйственной деятельностью пересыхающей р. Козынка (фиг. 7), 0,5 км к югу-юго-востоку от южной окраины с. Новомеловатка и в 12 км западнее г. Калач Воронежской области. Площадь месторождения имеет сложную форму вытянутого многоугольника: длиной (с севера-северо-запада на юг-юго-восток) 3,0–3,3 км и шириной (с запада-юго-запада на восток-северо-восток) 0,7–1,0 км. В структурном плане оно приурочено к присводовой части восточного склона Воронежской антеклизы. Современный региональный уклон девонских отложений (в том числе – чаплыгинских, подстилающих мамонскую толщу) имеет восточное – юго-восточное направление. Присводовые части склона антеклизы выположены, градиент погружения подошвы ПКТ составляет 2 м на

1 км, абсолютные отметки кровли меняются от +36 до +33 м.

В геологическом строении участка “Козынка” принимают участие отложения четвертичной, меловой и девонской систем. Полезной толщей являются песчано-глинистые отложения мамонской толщи. Перекрывается она песками альбского (K_1al) и сеноманского (K_2s) ярусов; а также современным пойменным аллювием р. Козынка. Подстилаются продуктивные отложения породами мичаплыгинской свиты (D_3cp). Полезная толща разбурена 29 скважинами до глубины 37,0 м. Вскрытая мощность продуктивных отложений сильно колеблется, от 13,6 до 22,3 м, в среднем 18,7 м.

ПКТ на месторождении “Козынка” представлена переслаиванием кварцевых разнозернистых каолинистых песков и каолинистых, в различной степени алевритистых, запесоченных железистых глин. Подчиненное значение в разрезе занимают каолинистые алевриты и песчаники с кварцево-глинистым цементом. Пески обычно плохо сортированы, от тонких до грубых, с включениями гравия и гальки кварца. Они относятся к аллювиальным русловым или к нерасчлененным делювиально-пролювиальным и аллювиальным фациям. В русловых аллювиальных фациях накапливались пески серые, кварцевые, крупно- и грубозернистые, косо-, реже неясно-слоистые, гравийные, прослоями переходящие в гравелиты, с хорошо и угловато окатанной галькой дымчатого, реже – водяно-прозрачного кварца. Они отсортированы, в них невысокое содержание пелитовых фракций. К таким отложениям на участке “Козынка” относятся пески, залегающие в ниж-



Фиг. 8. Разрез месторождения “Козынка”. Индексы: e_pH – почвенно-растительный слой; aH – пойменный аллювий, D_{3mm} – мамонская толща; 1 – почвенно-растительный слой, 2 – суглинок, 3 – песок разнозернистый с гравием, 4 – глина, 5 – песок, 6 – ожелезнение, 7 – контуры подсчетов запасов: красный – категория C_2 , зеленый – категория C_1 .

ней части вскрытой полезной толщи (подстилающие мощный пласт каолиновых глин).

Нерасчлененные делювиально-пролювиальные и аллювиальные русловые отложения представлены песками плохо сортированными, кварцевыми, разнозернистыми, от мелко- до грубозернистых, алевритовыми, сильно глинистыми, до песчаных глин. Количество гравия колеблется от десятых долей до 20%. В толще несортированных песков отмечаются прослои (от нескольких сантиметров до дециметров) песков с косою однонаправленной слоистостью, однородных, хорошо сортированных, преимущественно крупнозернистых. К ним на месторождении относятся пески, залегающие в средней и верхней частях полезной толщи (перекрывающие пласт каолиновых глин).

Характер внутреннего строения тел полезных ископаемых, распределение в них основных и сопутствующих компонентов, а также вредных примесей, оценены на участке “Козынка” с учетом неоднородного песчано-глинистого сложения полезной толщи. Из семи продуктивных горизонтов, составляющих разрез мамонской толщи, I – кварцевые, III, V и VII – кварцевые каолинитсодержащие пески; II, IV, VI – горизонты каолинов (фиг. 8).

Глины приурочены к пролювиальным, озерно-болотным или аллювиальным пойменно-старичным фациям. В нижней части разреза они

пролювиальные пестроцветные, залегающие выше разности озерно-болотные серые, темно-серые, сильно гумусированные, алевритистые, жирные на ощупь, с раковистым изломом, с автохтонными растительными остатками, часто углефицированными и пиритизированными. В них отмечаются неясная волнистая текстура и пятнистая окраска за счет неравномерного распределения гумуса. Пойменно-старичные глины светло-серые до серых, алевритистые, в различной степени запесоченные, жирные на ощупь, с раковистым изломом, редкими аллохтонными УРО и присыпками светло-серого песка по плоскостям напластования. Содержат прослои мелкозернистых кварцевых песков мощностью от 0.2–0.5 до 20–30 см.

Отмеченные тела полезных ископаемых относительно выдержаны по простиранию и прослеживаются на оценочной площади, изучены как по категории C_1 , так и C_2 . Нижние горизонты (I–III) распространены на всей разведанной площади, верхние (IV–VII) – не везде из-за сокращения их мощности или выклинивания в разрезах некоторых скважин. Наименьшую площадь распространения имеет верхний глинистый слой

Среди вскрытых тел полезных ископаемых наибольшие мощности характерны для нижних слоев. Так, средняя мощность I слоя кварцевых каолинитсодержащих песков в блоке C_1 -I – 5.36

м; в блоке C_2 -I – 5.60 м, в вышележащих горизонтах песков их средняя мощность уменьшается: в III слое – 3.18–3.38 м; в V слое – 1.43–1.87 м; и в слое VII – 1.17–1.71 м. Такая же тенденция прослеживается и для глин. Средняя мощность самого нижнего II горизонта каолиновых глин в блоках C_1 -II – 4.69 м, C_2 -II – 4.04 м. В вышележащих слоях каолиновых глин их средняя мощность уменьшается: в IV слое – 1.41–1.32 м; в слое VI – 0.89–0.92 м. По простиранию мощности всех слоев кварцевых каолинит-содержащих песков возрастают от центра разведанной площади (участок детализации с блоками категории C_1) к ее периферии (блоки категории C_2), а глин соответственно уменьшается.

Наибольшая доля запасов, сосредоточенных на разведанной площади (категории $C_1 + C_2$), приходится на нижние горизонты, характеризующиеся максимальными площадями распространения и мощностью. В слое I запасы (9.49 млн т) кварцевых каолинит-содержащих песков составляют 45.7% от общих запасов (20.75 млн т). Запасы каолиновых глин нижнего II слоя (6.99 млн т) составляют 59.5% от общих запасов (11.75 млн т). Наименьшая доля запасов приходится на верхние слои, мощность полезных ископаемых в которых минимальна, а площади распространения сокращены из-за выклинивания рудных тел. В слое VII запасы (2.63 млн т) кварцевых каолинит-содержащих песков (блоки C_1 -VII + C_2 -VII) составляют 12.7% от общих запасов. Запасы (1.19 млн т) каолиновых глин верхнего VI тела составляют 10.1% от общих запасов категории $C_1 + C_2$.

Слои каолинов отличаются неоднородным качеством минерального сырья. Два верхних горизонта (IV, VI) близки по внутреннему строению и качеству полезного ископаемого. Это каолины светло-серые до серых, с раковистым изломом, от слабо алевритистых до алевритовых, в различной степени запесоченные, иногда с прослоями песка и редкими растительными остатками. Средневзвешенное значение выхода обогащенного каолина (фракция <63 мкм) по блокам (C_1 -IV, C_2 -IV, C_1 -VI, C_2 -VI) достаточно выдержано – 80.41–81.37%. Средневзвешенное содержание по этим блокам оксидов, определяющих керамические свойства каолина, тоже слабо изменяется: Al_2O_3 – 31.81–32.44%; Fe_2O_3 – 1.57–2.15%; TiO_2 – 1.42–1.45%.

По классификации сырья для керамической промышленности глины относятся к группам основных, огнеупорных со средним содержанием красящих оксидов; низко- и среднесперсных, умереннопластичных, высокотемпературного спекания, сильно спекающихся. По техническим условиям они соответствуют различным маркам огнеупорных глин Латненского месторождения

(Bortnikov et al., 2016). Глины нижнего (II) горизонта отличаются от вышележащих не только повсеместным распространением и значительной мощностью, но и внутренним строением пласта, и качеством вскрытых в нем полезных ископаемых. Помимо разновидности светло-серых, алевритистых каолиновых глин, характерных для верхних горизонтов, здесь в разрезах всех скважин отмечаются пестроцветные разности. Это – каолиновые глины, кирпично-красного, вишневого, сиреневого, табачно-зеленого, охристо-желтого цвета. Они в различной степени ожелезненные (за счет гематита, лимонита), часто – с брекчиевидной текстурой, и могут использоваться в качестве тугоплавких керамических глин.

Кроме отмеченных двух разновидностей глин, в нижнем горизонте встречаются также темно-серые “чистые” (с низким содержанием алевритистых фракций), тонкодисперсные, каолиновые глины; а также – разновидность темно-серых до черных, сильно гумусированных каолиновых глин, с прослоями углефицированных разностей, с включениями пирита. Именно в них в значительной мере помимо терригенного отмечается аутигенный каолинит, что характерно для латненских глин (Bortnikov et al., 2013, 2016). Все это определяет отличное от вышележащих глин повышенное средневзвешенное значение химического состава и физико-механических показателей каолинов.

В целом средневзвешенное значение (84.27–84.43%) в нижнем горизонте выхода обогащенного каолина (фракция <63 мкм) выше, чем в верхних блоках. Вместе с тем содержание оксидов, определяющих керамические свойства каолина, несколько хуже, за счет влияния на эти параметры ожелезненных глин. Количество глинозема снижается (Al_2O_3 – 30.16–30.39%), а красящих оксидов возрастает (Fe_2O_3 – 4.21–4.39%; TiO_2 – 1.42%).

В верхних горизонтах каолин обычно светло-серый, содержание в нем красящих оксидов понижено, а глинозема повышено. Поэтому после обогащения на гидроциклонах он может использоваться не только в керамической, но и в бумажной промышленности – основным потребителем добываемого каолина во всем мире.

В четырех горизонтах *кварцевых каолинитсодержащих песков* основным полезным ископаемым являются кварцевые пески для стекольной и других видов промышленности, попутным компонентом – каолин обогащенный (фракция <63 мкм) из их глинистой составляющей. По содержанию основных оксидов (SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3), регламентирующих марку стекольных песков, можно выделить две группы песчаных горизонтов. Первая – это верхние горизонты VII и V, в блоках которых их средневзвешенное содер-

жание (SiO_2 – 98.41–98.80; Al_2O_3 – 0.48–0.64; Fe_2O_3 – 0.20–0.25%) определяет низкие марки пониженной светопрозрачности – ПС-250. Вторая группа – нижние горизонты I, III, в блоках которых пески более чистые (SiO_2 – 98.80–99.00%; Al_2O_3 – 0.44–0.61%; Fe_2O_3 – 0.14–0.15%), что повышает их ценность до марок полубелых – ПБ-150-2 и ПБ-150-1. При обогащении песков возможно получение более ценных марок стекольных изделий. При гидроклассификации возможно получение формовочных (мелкие фракции) и строительных песков, в том числе модулем крупности более единицы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дефицитные вторичные каолины, а также каолин-кварцевые смеси верхнедевонского возраста развиты в мамонской песчано-каолиновой толще на юге Воронежской антеклизы в эрозионной депрессии. ПКТ образовалась преимущественно за счет размыва КВ на кристаллических породах докембрия, распространенных южнее поля ее распространения. В меньшей степени размывались КВ на осадочных породах и базальтах. На последних элювий в значительных количествах содержал оксиды железа, что явилось причиной появления пестроцветных каолинов в нижней части ПКТ.

Выделены три зоны развития ПКТ – Западная, Центральная и Восточная. Наиболее благоприятна для поисков каолинов Центральная зона, где они составляют до 50% в разрезе толщи, а толща залегает близ поверхности по долинам рек, том числе Дона. По направлению на запад и восток глубина залегания толщи увеличивается, а общая мощность слоев каолинов уменьшается. В Центральной зоне возможна добыча неглубоко залегающих каолинов открытым способом, тогда как на ее водораздельных пространствах и в двух других зонах – высокоэкологичным гидроскважинным.

Разведочными работами в Калачском районе Воронежской области открыто крупное месторождение “Козынка” вторичных каолинов и кварцевых песков, в том числе с различным содержанием глинистой примеси, из которой возможно получение обогащенного каолина. Вмещающие кварцевые пески являются ценным стекольным, формовочным и строительным (песчано-гравийные смеси) попутно добываемым полезным ископаемым. Технологическими испытаниями определена пригодность каолинов в качестве огнеупорного и тугоплавкого минерального сырья для керамических изделий различного назначения. Общие авторские запасы каолинов по категориям $C_1 + C_2$ – 10155, по P_1 – 8634 тыс. т, песков по $C_1 + C_2$ – 20755, по P_1 – 37012 тыс. т.

Учитывая широкое развитие ПКТ на большой территории, ее значительные мощности, возможности отдельного получения путем гидроклассификации и гидроциклонирования ценных керамического, стекольного, формовочного и строительного, отбеливающего для бумажной промышленности сырья, открываются перспективы для открытия новых месторождений, а отсюда и новой каолиноносной провинции в Центральной России.

В пределах Центральной зоны уже разрабатываются месторождения строительного камня из гранитов и палеогеновых песчаников, бентонитовых глин, мела, кирпичного сырья, разведаны месторождения медно-никелевых руд. Существуют реальные возможности разработки залежей базальтов для получения ценного балластного щебня и каменного литья, графита. На рассматриваемой территории имеются благоприятные экономические возможности. Они включают развитую инфраструктуру, избыток рабочей силы, коммуникации (железная и асфальтированные дороги, пристани на р. Дон, линии электропередач, газопровод), мягкий климат. Все это позволяет создать на рассматриваемой территории зону ускоренного экономического развития, в которой разработка полезных ископаемых в мамонской толще будет играть важную роль.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке задания № 121041500220-0.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев В.В., Савко А.Д.* Естественные отделочные и облицовочные материалы из осадочных пород северо-востока Воронежской антеклизы // Труды научно-исследовательского института геологии Воронежского государственного университета. 2003. Т. 15. С. 1–94.
- Горбачев Б.Ф., Красникова Е.В.* Состояние и возможные пути развития сырьевой базы каолинов, огнеупорных и тугоплавких глин в Российской Федерации // Строительные материалы. 2015. № 4. С. 6–17.
- Дубянский А.А.* Новые данные по геологии Курской и Воронежской областей. Воронеж : Тр. Воронежского СХИ, 1940. 146 с.
- Крайнов А.В.* Геология и минерагения керамических и огнеупорных глин аптского яруса Воронежской антеклизы. Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 2016. 132 с.
- Окорков В.А., Савко А.Д.* Литология фаменских отложений Воронежской антеклизы. Воронеж: ВГУ, 1998. 124 с.
- Раскатова Л.Г.* О возрасте песчано-каолиновой (мамонской) толщи юго-восточного склона Воронежской антеклизы по данным спорово-пыльцевого анализа // Труды геологического совещания по проблемам изу-

чения Воронежской антеклизы. Воронеж, 1966. С. 272–290.

Раскатова Л.Г. Палинологическая характеристика фауны отложений центральных районов Русской платформы. Воронеж: ВГУ, 1973. 174 с.

Савко А.Д., Новиков В.М., Крайнов А.В., Давыдов Д.Н., Ратников В.Ю. Минералогия аптских отложений Воронежской антеклизы // Вестник Воронежского гос. ун-та. Сер. Геология. 2011. № 2. С. 5–32.

Савко А.Д., Крайнов А.В. Керамические глины Центрально-Черноземного района // Труды НИИ геологии ВГУ. Вып. 88. Воронеж: ВГУ, 2015. 109 с.

Савко А.Д., Мануковский С.В., Шевырев Л.Т. Литология и полезные ископаемые мамонской песчано-каолиновой толщи Воронежской антеклизы // Труды НИИ геологии ВГУ. Вып. 53. 2008. 112 с.

Савко А.Д. Эпохи корообразования в истории Воронежской антеклизы. Воронеж: ВГУ, 1979. 119 с.

Утехин Д.Н. Что такое мамонские слои девона? // Тр. межобл. геол. совещ. по геологии и минеральным ресурсам ЦЧО. Воронеж. 1962. С. 68–73.

Bortnikov N.S., Novikov V.M., Savko A.D., Boeva N.M., Zhegallo E.A., Bushueva E.B., Krainov A.V., Dmitriev D.A. Structural-Morphological Features of Kaolinite from Clayey Rocks Subjected to Different Stages of Lithogenesis: Evidence from the Voronezh Antecline // Lithology and Mineral Resources. 2013. V. 48. № 5. P. 384–397.

Bortnikov N.S., Savko A.D., Novikov V.M., Boeva N.M., Soboleva S.V., Zhegallo E.A., Dmitriev (Central Russia) // Lithology and Mineral Resources. 2016. V. 51. № 6. P. 425–438.