

УДК 551

ЮЖНО-УШКОТИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ КАОЛИНОВ НА ЮГО-ВОСТОКЕ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2004 г. Б. Ф. Горбачев, А. Ф. Шарапов*, П. В. Лядский**, Н. Т. Шмельков**

Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных полезных ископаемых
420097 Казань, ул. Зинина, 4; E-mail: root@geolnerud.Mi.Ru

* Главное управление природных ресурсов и охраны окружающей среды по Оренбургской области
460000 Оренбург, Парковый проспект, 6; E-mail: les@mail.esso.ru

** Федеральное геологическое унитарное предприятие “Оренбурггеоресурс”
461320 Оренбургская область, пос. Нежинка, ул. Школьная, 24; E-mail: geo@mail.orenburg.ru

Поступила в редакцию 23.09.2003 г.

Открытое и изученное авторами Южно-Ушкотинское месторождение элювиальных каолинов расположено в Домбаровском районе Оренбургской области, в 20 км от железной дороги. Приурочено оно к осевой части Восточно-Уральского поднятия, материнскими породами являются лейкократовые граниты Верхнеушкотинского массива. Месторождение представлено пятью залежами, из которых самая крупная содержит запасы около 40 млн. т. Залежи представляют собой эрозионные останцы полнопрофильной линейно-площадной коры выветривания, приуроченные к фрагментам мезозойского пенеплена с гипсометрическим положением поверхности не ниже 360 м. Вариации мощностей зоны каолинов и коры выветривания в целом, а также морфология залежей во многом определяются развитием тектонических нарушений субмеридионального и северо-восточного простираний. В профиле коры выветривания лейкократовых гранитов Верхнеушкотинского массива выделены две продуктивные зоны – собственно каолинов (каолинит + кварц) и щелочесодержащих каолинов (каолинит + кварц + калиевый полевой шпат и/или мусковит). При содержании оксида калия свыше 3.5% – “щелочные” каолины представляют интерес в качестве комплексного сырья. Состав и свойства обогащенных каолинов отвечают требованиям отраслей традиционно их потребляющих (тонкая керамика, производство бумаги и пр.). Открытие Южно-Ушкотинского месторождения является подтверждением ранее высказанного заключения о значительных перспективах каолиноносности Орского Зауралья и, как надеются авторы, может прослужить стимулом для продолжения исследований и оценки ресурсов Мугоджарской каолиноносной субпровинции.

Многими исследователями ранее отмечалась перспективность Южного Зауралья в отношении поисков промышленных залежей элювиальных каолинов высокого качества [Белов, 1969; Блохинцева, Иванов, 1990; Горбачев, Васянов, 1983; Петров, 1968; Степанов, Герасименко, 1974]. Более подробно закономерности размещения месторождений элювиальных каолинов в Мугоджарах рассмотрены ранее Б.Ф. Горбачевым и Г.П. Васяновым [1974]. При этом в качестве заслуживающих наибольшего внимания были выделены коры выветривания, развитые на гранитах Верхнеушкотинского, Среднеушкотинского и Кошенсайского массивов. Тем не менее, до 90-х годов целенаправленные геолого-разведочные работы проводились в Челябинском и Орском Зауралье лишь эпизодически, с методическими упущениями и не могли по этим причинам привести к положительным результатам.

Отсутствие интереса к изучению каолинов Зауралья было связано с долговременным господст-

вом стереотипных представлений о том, что все потребности российских предприятий в каолиновых продуктах будут постоянно и полностью удовлетворены поставками с месторождений Украины.

После 1992 г. стала очевидной актуальность создания в РФ полноценной базы каолинового сырья, что явилось побудительным мотивом для поисков в Южном Зауралье залежей каолинов в мезозойской коре выветривания, фиксирующей наиболее сохранившиеся от размыва фрагменты древнего Зауральского пенеплена. К настоящему времени в Зауралье проведены поисковые работы на площадях развития коры каолинового выветривания гранитоидов и получены результаты, отвечающие сложившимся представлениям о закономерностях формирования и локализации месторождений каолинов в корах выветривания [Методические ..., 1984; Прогнозная ..., 1998].

Поисковые работы позволили получить дополнительную информацию об особенностях залегания и сохранности мезозойской коры вывет-

ривания на территории Зауралья. Так, можно полагать, что полнопрофильная кора выветривания имеет в контурах гранитных массивов ограниченное развитие и сохраняется, главным образом, в связи с линейными ее фрагментами, ориентация и морфология которых контролируется тектоническими нарушениями или конфигурацией локальных тектонических блоков, явившихся следствием неотектонических деформаций мезозойского пенеппена. Решающей предпосылкой формирования каолинов хорошего качества (светлоокрашенных маложелезистых и низкотитанистых) является, помимо факторов самого выветривания, петрохимическая специфика выветренного субстрата. Максимальный эффект наблюдается при выветривании лейкократовых гранитоидов, подверженных воздействию гидротерм, что определяет отсутствие или минимальное содержание в них темноцветных минералов.

Южное Зауралье является в Российской Федерации ведущим регионом в отношении прогнозных ресурсов, разведанных запасов и по числу месторождений и проявлений элювиальных каолинов, генетически связанных с мезозойской корой выветривания более древних магматических и метаморфических пород.

В Челябинском Зауралье (Южно-Уральская каолиноносная субпровинция) в итоге поисковых и оценочных работ на флангах месторождения Журавлиный Лог (вблизи г. Пласт), выявлены и подсчитаны по категории C_2 запасы каолинсырца в количестве 60 млн. т при значительном содержании (участками до 50%) высокосортных разностей.

Поиски каолиновых залежей в Орском Зауралье (Мугоджарская каолиноносная субпровинция), начатые в 1996 г., привели к выявлению ряда проявлений элювиальных каолинов, из которых Южно-Ушкотинское месторождение было признано наиболее перспективным, в соответствии с чем в 1999–2001 гг. на нем были проведены оценочные работы.

Месторождение расположено на территории Домбаровского района Оренбургской области, в верховьях балки Суллы-Караганды, вблизи границы с Казахстаном.

С позиций минерагенического районирования Южно-Ушкотинское месторождение является частью Ушкотинского каолиноносного района, приуроченного к центральной (осевой) зоне Восточно-Уральского тектонического поднятия, в сложении которого значительное участие принимают гранитоиды. После формирования коры выветривания территория Ушкотинского каолиноносного района вплоть до настоящего времени находилась в континентальных условиях. В связи с эрозионными и абразионными процессами кора

выветривания сохранилась в полнопрофильном виде неповсеместно.

Месторождение изучалось системой буровых скважин с проектной глубиной до 30 м по сети 200×400 м, были исследованы более детально площади развития преимущественно белых каолинов. Проводилось послойно-секционное опробование керна. Отдельные и групповые пробы направлялись в лаборатории ЦНИИГеолнеруд, где каолины и продукты их обогащения подвергались комплексному изучению [Горбачев и др., 2000] при соблюдении нормативных требований.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И МОРФОЛОГИЯ ЗАЛЕЖЕЙ

Южно-Ушкотинское месторождение – это совокупность каолиновых тел (залежей), приуроченных к верхней зоне профиля каолинового выветривания гранитоидов Верхнеушкотинского массива. Залежи каолинов прослежены в полосе протяженностью до 6 км при изменчивой ширине до 2.5 км, ориентированной соответственно основному простиранию уральских структур. Вдоль балки Суллы-Караганды наблюдается глубокий размыв верхней каолиновой зоны профиля выветривания гранитоидов, в результате чего выделены северная (более детально изученная) и южная части месторождения.

Полнопрофильная кора выветривания сохранилась преимущественно на месте наименее эродированных реликтов мезозойского пенеппена. Устья скважин, вскрывших полнопрофильную кору выветривания гранитоидов, расположены на гипсометрических уровнях не ниже 360 м (рис. 1). В современном рельефе этому отвечают отдельные плоские слабо выраженные в рельефе возвышенности, разделенные системой выположенных ложковых водотоков, лишь местами переходящих в узкие врезы, иногда со скалистыми склонами или порогами (пример балки Суллы-Караганды). К северу и западу от месторождения наблюдается переход к мелкосопочнику олигоцен-миоценового возраста. Соответственно в указанных направлениях отмечается почти полный размыв элювиального покрова и выход на поверхность гранитоидов. К востоку от месторождения простирается денудационная равнина, сложенная пестроцветными глинами плиоцена.

Таким образом, Южно-Ушкотинское месторождение – это реликт мезозойского пенеппена с частично сохранившейся полнопрофильной, т.е. включающей зону каолинов, линейно-площадной корой выветривания. О присутствии линейных фрагментов коры свидетельствует резкое возрастание как мощности коры выветривания в целом, так и зоны каолинов в частности, как это показано на геологическом разрезе (рис. 2). Особеннос-

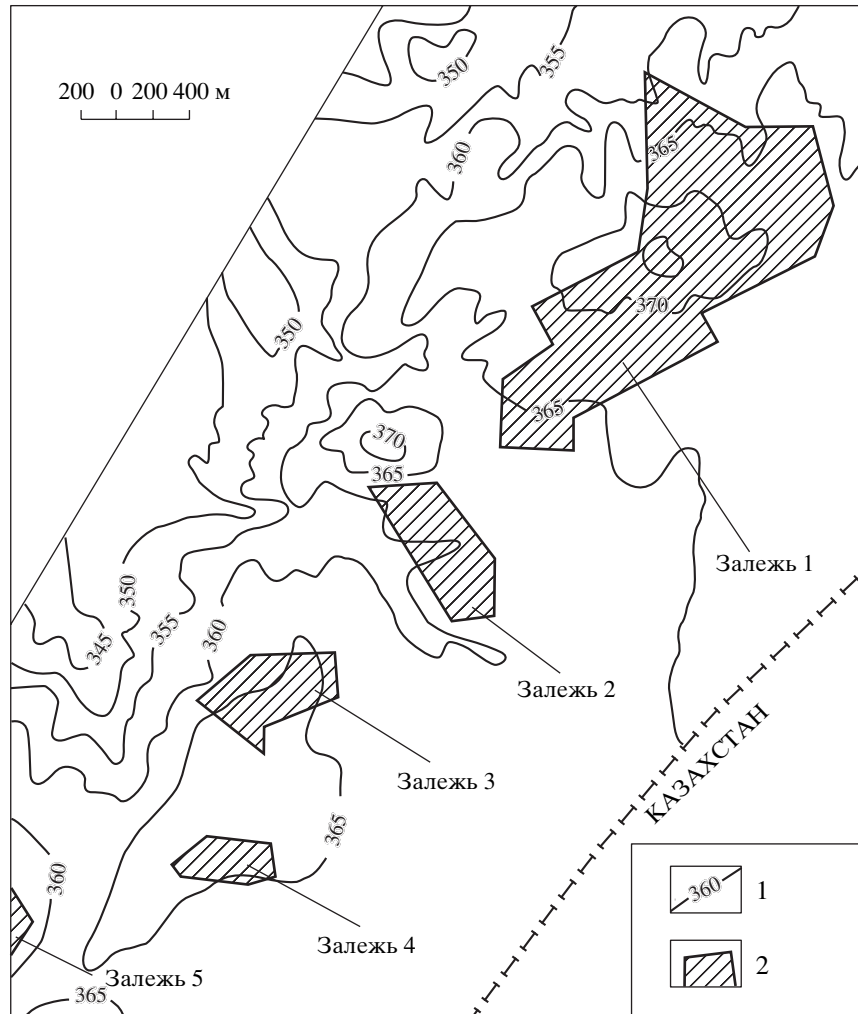


Рис. 1. Положение залежей каолина относительно современного рельефа: 1 – изогипсы; 2 – залежи элювиальных каолинов.

ти морфологии тел каолина отражают неоднородность геологического строения изученной площади, которая определяется наложением как минимум пяти факторов:

1. непостоянство вещественного состава гранитоидного субстрата, что в значительной степени связано с постмагматическими процессами щелочного и кислого метасоматоза;
2. изменчивость состава продуктов выветривания как следствие минерально-геохимической зональности профиля коры выветривания;
3. варьирующая глубина развития процессов каолинизации, что во многом определяется контролирующей ролью докоровых тектонических нарушений, вдоль которых каолины имеют наиболее значительную мощность;
4. различная степень сохранности коры выветривания, особенно ее верхней (каолиновой) зоны, что определяется дифференцированными верти-

кальными подвижками локальных тектонических блоков во взаимодействии с денудационными процессами от плиоцена до наших дней;

5. варьирующая мощность отложений плиоцена, состав которых оказывает влияние на нижележащие каолины (ожелезнение, кальцитизация, загрязнение чужеродным глинистым материалом).

Совокупное воздействие указанных факторов определяет ныне наблюдаемые особенности морфологии каолиновых залежей, как в плане, так и в разрезах. На схематической литолого-геологической карте месторождения (рис. 3) выделены поля развития пород выветренного субстрата и элювиитов, отвечающих разным зонам профиля коры выветривания. Контуры полей в заметной степени определяются ориентировкой как докоровых, так и посткоровых зон тектонической нарушенности. Контролирующими являются, преимущественно, две системы докоровых тектони-

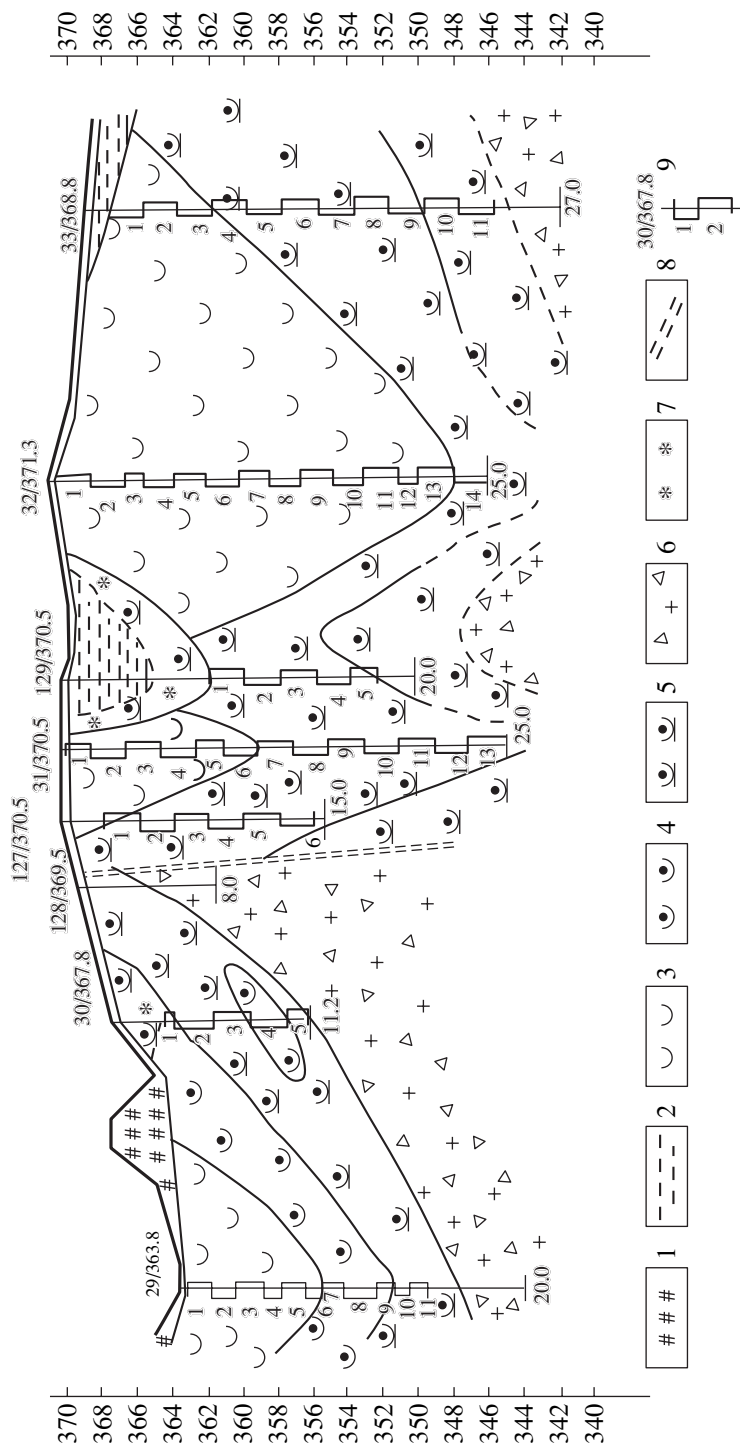


Рис. 2. Геологический разрез залежи (профиль I-I):
 1 – почвенно-растительный слой; 2 – отложения плейстоцена; 3 – каолин; 4 – щелочной элювий; 5 – пестроцветный элювий; 6 – дресва гранитов; 7 – ожелезнение каолина; 8 – предполагаемые тектонические нарушения; 9 – скважины, их номера, абсолютные отметки устья, интервалы опробования и номера проб.

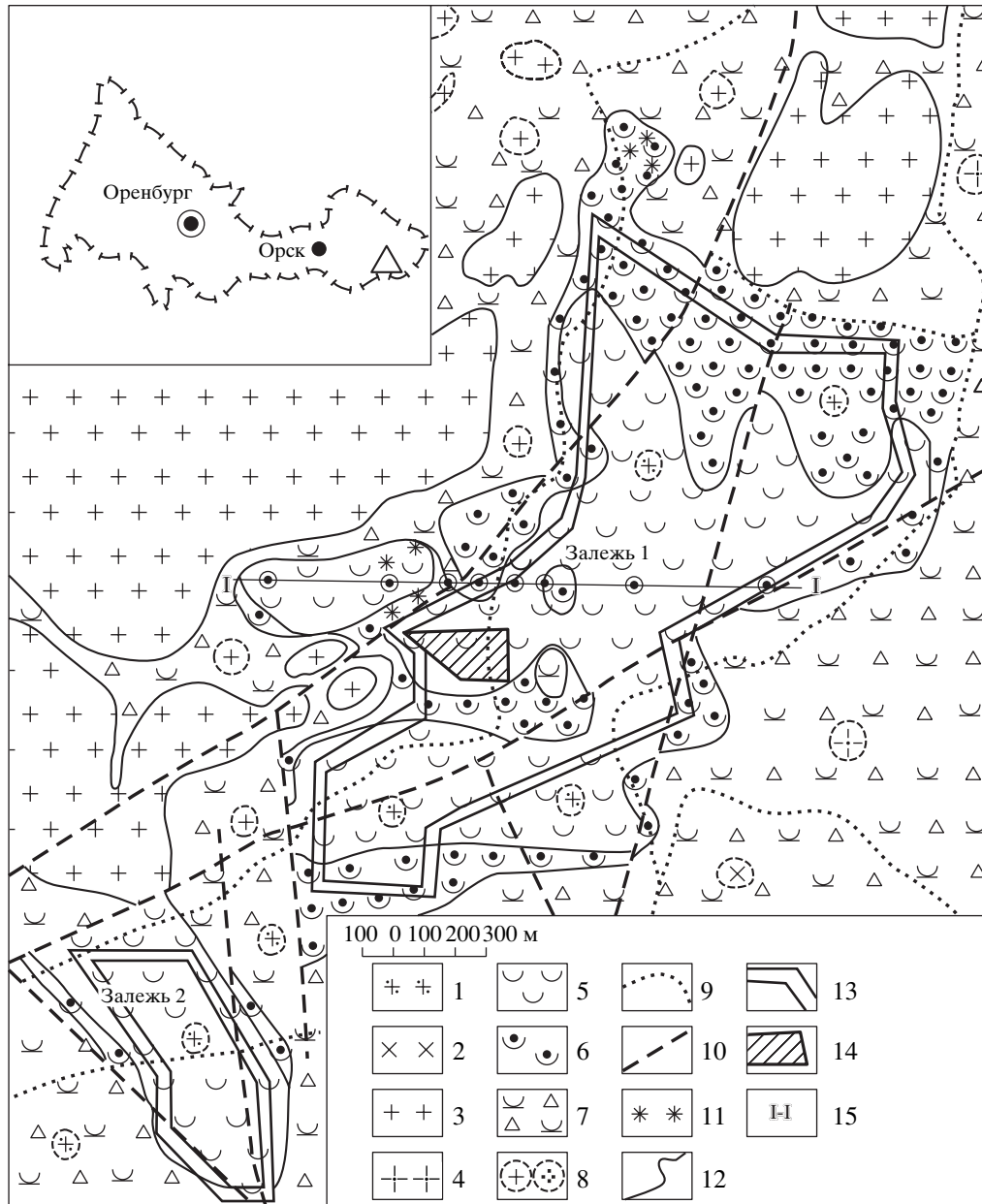


Рис. 3. Схематическая карта северной части Южно-Ушкотинского месторождения (плиоценово-четвертичный покров снят).

1 – плагиограниты и тоналиты биотитовые, реже роговообманково-биотитовые; 2 – гранодиориты; 3 – граниты микроклинизированные порфиroidные двуслюдяные; 4 – граниты микроклинизированные и мусковитизированные лейкократовые; 5 – каолин; 6 – щелочной каолин; 7 – пестроцветный глинистый и глинисто-древянный элювий; 8 – гранитоидный субстрат под корой выветривания; 9 – условная граница распространения гранитоидов разного типа; 10 – предполагаемые тектонические нарушения; 11 – ожелезнение каолинов; 12 – граница распространения коры выветривания и каолинов; 13 – контур подсчета запасов категории C_2 ; 14 – участок подсчета запасов категории C_1 ; 15 – линия профиля на рис. 2.

ческих нарушений, имеющих субмеридиональное и северо-восточное простирание, которым в целом соответствует ориентировка максимумов мощности каолинов (рис. 4). Светлоокрашенные (или белые) каолины тяготеют к центральной части площади ныне существующей коры выветри-

вания; по ее периферии развиты преимущественно цветные каолины и породы зон начальной каолинизации и дезинтеграции. Таким образом, взаимодействие неотектонических движений и процессов денудации привело к расчленению некогда единого каолинового покрова на отдель-

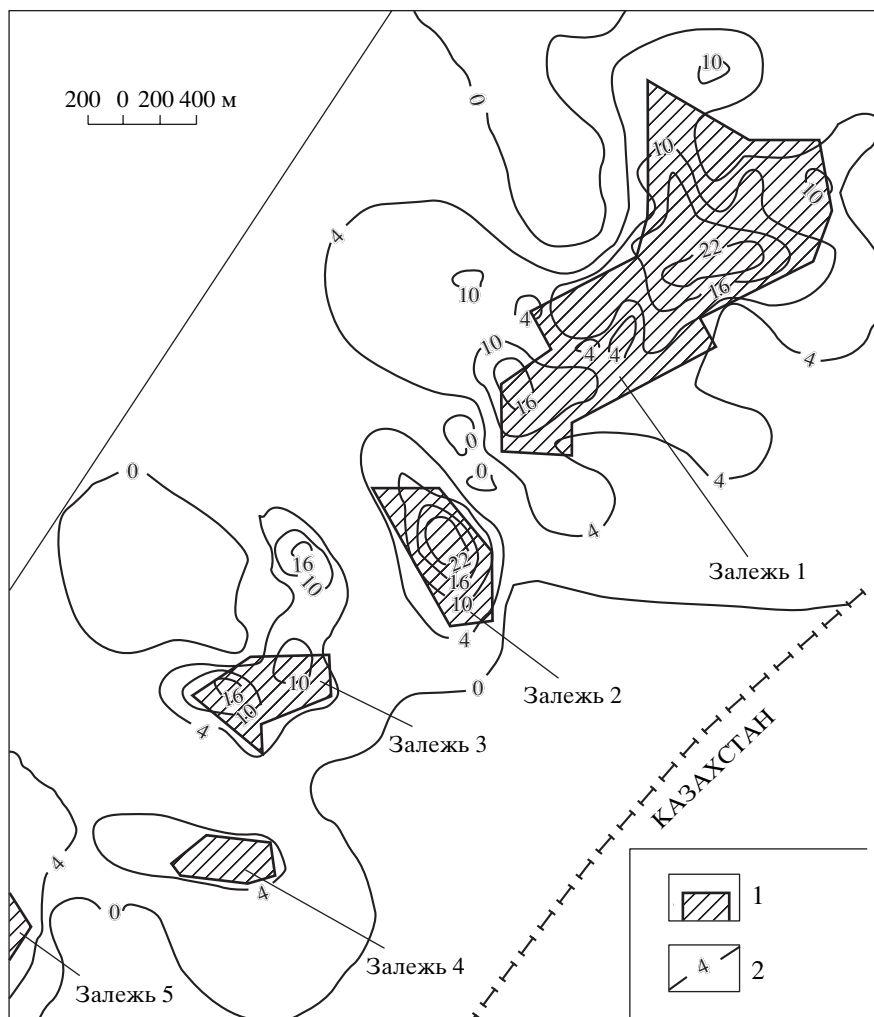


Рис. 4. Положение залежей каолина (1) относительно линий их изомощности (2).

ные фрагменты, разделенные полями развития элювиитов, не представляющих интереса в качестве каолинового сырья.

По результатам геолого-разведочных работ выделены 5 разобщенных залежей, параметры которых приведены в табл. 1.

Наиболее крупное и наиболее детально изученное тело каолинов (залежь 1) расположено на северном фланге месторождения. Тела каолинов, расположенные южнее, занимают значительно меньшую площадь и изучены менее детально. Контуры тел каолинов в плане и на геологических разрезах проведены по нижней границе зоны щелочных каолинов при содержании в них Fe_2O_3 не более 2%. В поперечных разрезах тела каолинов представлены чаще всего клиновидными формами, свидетельствующими о контролирующей роли зон разуплотнения в субстрате. При последующем более детальном изучении представления о форме и размерах каолиновых тел могут быть уточнены.

КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ

На площади Южно-Ушкотинского месторождения кора выветривания была вскрыта в 139 скважинах из 169 пробуренных на поисковой и оценочной

Таблица 1. Параметры залежей Южно-Ушкотинского месторождения

№ залежи	Параметры, м			Запасы, тыс. т
	длина	ширина	мощность	
1	2800	300–1600	12.7	$C_1 + C_2$ 38494*
2	1300	300–450	9.8	C_2 4339
3	1100	400	13.7	C_2 6732
4	600	500	7.5	P_1 1130
5	500	200–250	7.4	P_1 1666

Примечание. * Утверждены ГКЗ РФ 16 ноября 2001 г.

Таблица 2. Минеральный состав гранитоидов субстрата, %

Породообразующие минералы	Плагиогранит	Двуслюдный гранит	Лейкократовый гранит
Плагиоклаз	45–60	20–35	15–30
Биотит	5–10	1–5	<1
Роговая обманка	1–5	–	–
Микроклин	5–10	30–40	35–45
Кварц	20–35	25–40	30–45
Мусковит	<1	5–10	до 5

стадиях геолого-разведочных работ. Профиль коры выветривания имеет типичное для каолиновых месторождений трехчленное строение: нижняя зона (дезинтеграции), средняя (начальной каолинизации) и верхняя (полной каолинизации) с подзонами щелочного и собственно каолина.

Гранитоиды, послужившие субстратом коры выветривания, формировались в течение трех основных фаз становления Верхнеушкотинского интрузивного массива. Ранняя из них представлена плагиогранитами и тоналитами биотитовыми, реже, с роговой обманкой, представляющими первичный результат кристаллизации основного объема кислой магмы, внедрившейся в камеру интрузива. В последующую фазу развивалась микроклинизация плагиогранитов, в результате чего были сформированы порфириовидные двуслюдяные граниты. Заключительная фаза отвечает формированию обеленных (лейкократовых) микроклинизированных и мусковитизированных порфириовидных гранитов при газово-эманационных воздействиях на породы во время двух первых фаз становления интрузива. Лейкократовые граниты образуют узкую протяженную полосу в северной части изученной площади (см. рис. 4), что предполагает бывшее существование зоны повышенной проницаемости, послужившей каналом для поступления флюидов, обогащенных щелочами и летучими компонентами. В табл. 2 приведены сведения об особенностях минерального состава гранитоидов, из которых следует, что двуслюдяные граниты большей частью могут быть отнесены к нормальным гранитам, частично приближающимся к существенно плагиоклазовым. Они, как и плагиограниты, имеют порфириовидную или равномернозернистую структуру, при этом гипидиоморфизм не всегда выражен достаточно четко, поскольку бывает затушеван бластезом.

У лейкократовых гранитов гранитная структура проявлена более четко (при наличии бластеза) ввиду более заметных различий в степени идио-

морфности породообразующих минералов. Среди лейкократовых гранитов присутствуют разновидности, содержащие до 70% микроклина, приближающиеся к граносиенитам. Для лейкократовых гранитов характерно отсутствие минералов фтора, лития, бора, что связывают [Грабежев и др., 1980] с резко отрицательной специализацией гранитов массива в отношении фтора и фторофильной группы редких элементов

Следует отметить, что полнопрофильная кора выветривания в основном расположена над лейкократовыми гранитами. При этом существенно полевошпатовый состав и относительно низкое содержание оксидов железа, марганца, титана, особенно в гранитах третьей фазы, являются благоприятной предпосылкой для формирования при выветривании светлоокрашенных (или белых) каолинов.

В низах коры выветривания происходит дезинтеграция исходных гранитов на разноразмерные фрагменты (дресва), выше в дресве нарастает участие гипергенных глинистых компонентов (каолинит, смектит), замещающих плагиоклаз и биотит. При этом микроклин, кварц и мусковит устойчивы к процессам выветривания. Мощность зоны дезинтеграции варьирует от 4 до 8 м, хотя в некоторых скважинах достигает 15 и более метров, что, видимо, связано с предшествующими выветриванию тектоническими воздействиями на субстрат. Верхняя граница зоны проводится условно по исчезновению плагиоклаза в связи с его полным замещением крипточешуйчатым каолинитом. Биотит теряет окраску по краям и расщепляется по плоскостям спайности, мусковит снижает прозрачность, мутнеет. Выветривание биотита сопровождается появлением мелких выделений гелевидного светло-зеленого смектита, образующего иногда псевдоморфозы по биотиту; при этом выделяется анатазовый лейкоксен.

Зона начальной каолинизации имеет мощность от 0 до 15 м и представлена еще более разуплотненными породами с существенным возрастанием роли гипергенных минералов, в первую очередь – каолинита. Микроклин устойчив и испытывает лишь слабое растворение по трещинам спайности, пертитовые вроски альбита в нем замещены каолинитом. Мусковит теряет прозрачность, гранулируется. Верхняя граница зоны условно проводится по исчезновению гидратированного обесцвеченного биотита, чему обычно отвечает снижение общего содержания Fe_2O_3 до 2%. Породы зоны начальной каолинизации в связи с присутствием в них окрашенных продуктов выветривания темноцветных минералов окрашены преимущественно в зеленовато-, желтовато- или буровато-серый цвет, чему отвечает довольно высокое содержание в них оксидов железа (3–5%). При выветривании лейкократовых гранитов

с низким содержанием биотита зона начальной каолинизации выражена неотчетливо и имеет малую мощность. В профиле выветривания плагиогранитов эта же зона выражена весьма отчетливо и имеет максимальную мощность.

В профиле коры выветривания микроклиновых гранитов выше зоны начальной каолинизации расположена подзона щелочных каолинов мощностью 2–28 м, среднее – 10 м. При выветривании плагиогранитов подобная подзона не формируется. Вследствие избирательной устойчивости к выветриванию в щелочных каолинах, кроме кварца и каолинита, присутствует микроклин в начальной стадии каолинизации. В качестве примесей отмечены мусковит, смектит, минералы оксидов железа и титана, акцессории. При содержании свыше 3.5% K_2O и отсутствии окраски щелочные каолины представляют интерес в качестве комплексного кварц-микроклин-каолинитового сырья. Граница между щелочными каолинами и расположенной выше зоной собственно каолинов проведена условно по содержанию K_2O в каолинитовом концентрате ниже 2%.

В подзоне собственно каолинов мощностью до 40 м, (средняя 11 м), породы имеют биминеральный состав: каолинит + кварц, с изменчивой примесью частично каолинизированного мусковита. Белоцветные разности, особенно получаемые из них при обогащении каолинитовые продукты (обогащенный или фракционированный каолин), представляют наибольшую ценность в качестве минерального сырья. Непосредственно под перекрывающими кору выветривания осадочными образованиями в каолинах наблюдаются ожелезнение, кальцитизация, вымывание чужеродного глинистого вещества, гумуса, в связи с чем может быть выделен локальный горизонт инфильтрационных воздействий. Мощность горизонта – от десятков см до первых м. Каолины, затронутые процессом инфильтрации, чаще всего являются некондиционными.

Проведенные наблюдения позволяют выделить на изученной площади две модификации профиля коры выветривания: 1 – по микроклин-содержащим гранитам, 2 – по плагиогранитам и близким им породам с отсутствием или резко подчиненным содержанием микроклина. Соответственно, присутствуют три природных типа каолинов: 1) собственно каолины по микроклин-содержащим лейкократоновым гранитам, 2) щелочные каолины по породам того же типа и 3) собственно каолины по плагиогранитам и биотитовым гранитам.

Принято считать, что природные типы полезных ископаемых в зависимости от различий минерального состава, текстурно-структурных характеристик при вспомогательной роли окраски, физико-механических и прочих свойств должны

Таблица 3. Химический состав каолина-сырца, %

Компонент	Природные типы		
	I – собств. каолин	II – щел. каолин	III – собств. каолин
SiO_2	66–73	65–74	56–687
Al_2O_3	18–22	15–22	22–29
Fe_2O_3	0.5–0.8	0.3–0.7	0.3–1.5
TiO_2	0.07–0.16	0.08–0.12	0.3–0.8
CaO	0.05–0.16	0.05–0.2	0.15–0.5
K_2O	0.05–0.1	2.0–5.6	0.1–0.25
п.п.п.	0.5–2.0	2.9–7.5	7.0–10.5

Таблица 4. Минеральный состав каолина-сырца, %

Минерал	Природные типы		
	I – собств. каолин	II – щел. каолин	III – собств. каолин
Каолинит	45–50	30–35	55–65
Кварц	48–52	45–48	30–40
Микроклин	1–2	18–20	1–2
Мусковит	1–3	1–2	1–2
Прочие	1–2	1–2	1–3

иметь четкое пространственное обособление, т.е. способны образовывать геологические тела с определенными условиями залегания и объемом. Этим условиям вполне соответствуют выделенные природные типы каолинов Южно-Ушкотинского месторождения, которые пространственно четко обособлены и, как будет показано ниже, имеют специфические особенности вещественного состава и свойств.

КАОЛИН-СЫРЕЦ

В качестве полезного ископаемого наибольший интерес представляют каолины белого и серовато-белого цвета, иногда с кремовым оттенком, жирные наощупь. Минеральный состав сырца определяется особенностями состава исходного гранита и принадлежностью каолина к одной из двух продуктивных подзон в профиле коры выветривания. В связи с этим для выделенных выше природных типов каолина-сырца отмечены некоторые различия в химическом составе (табл. 3) и содержании порообразующих минералов (табл. 4).

Собственно каолины формируются при глубоком выветривании гранитов всех разновидностей. Реликтовые минералы представлены в них мелкозернистым кварцем при варьирующем подчиненном участии мусковита. В щелочных каолинах в близких соотношениях с кварцем присутствует

микроклин со слабо проявленным “решетчатым” двойникованием при полной каолинизации в нем пертитовых вростков. При детальном изучении в микроклине наблюдается присутствие большого количества микропустот, образовавшихся в результате его гидrolитического растворения. Глинистый матрикс, составляющий в большинстве случаев 40–60% каолина, состоит в основном из крипточешуйчатого каолинита, в котором присутствуют его поликристаллические (вермикулярные) сростки. При скрещенных николях в матриксе отмечается присутствие примеси микрочешуйчатой слюды (серицита).

Вариации химического состава каолина-сырца согласуются с соотношениями в нем главных минеральных компонентов: каолинита, кварца, микроклина, мусковита; важным показателем является также содержание оксидов железа и титана. Для щелочных каолинов характерны повышенное содержание K_2O и пониженная величина потери при прокаливании. Каолины по плагиогранитам отличаются от каолинов по микроклиновым гранитам несколько более низким содержанием SiO_2 , однако содержат заметно больше Al_2O_3 , TiO_2 .

При содержании в сырце более 1.5% Fe_2O_3 к серовато-белой или светло-серой окраске каолина добавляются желтые и кремовые оттенки. При еще более высоких концентрациях оксида железа в окраске появляются розовые тона. Цвет каолина зависит от суммарного содержания оксидов Fe, Ti, Mn, Cr, Ni, из которых ведущую роль выполняют два первых. Радионуклидный анализ показал, что $A_{эфф}$ проб каолина-сырца варьирует в интервале значений 72.6–328.5 БТ/кг (среднее 155.86), при этом наибольший вклад вносит ториевая составляющая, напрямую связанная с содержанием этого элемента в исходных гранитах.

Для сравнения можно привести состав коммерческого продукта – каолина-сырца месторождения Журавлиный Лог (марка КС-Жл) в %: SiO_2 – 63.1, Al_2O_3 – 20.71, Fe_2O_3 – 0.59, TiO_2 – 0.22, CaO + MgO – 0.57, K_2O + Na_2O – 0.80, SO_3 – 0.08, п.п.п. – 7.7. Химическому составу отвечают содержания (%): каолинит – 45, кварц – 42, слюда – 6.0, калиевый полевой шпат – 6.0, карбонаты – 1.0. Эта марка каолина-сырца предназначена для производства фарфоро-фаянсовых изделий и строительной керамики. При сравнении приведенных выше сведений с данными таблиц 3 и 4 можно заключить, что к ним по показателям вещественного состава близко приближаются собственно каолины, образованные при выветривании микроклиновых гранитов Верхнеушкотинского гранитового массива. Каолин-сырец пригоден для производства кислых огнеупоров, а бесцветные разности – для изготовления фаянсовых изделий. В целом область применения каолина-сырца довольно огра-

ничена, ввиду чего основное внимание уделяется обычно оценке промышленной ценности обогащенного каолина, имеющего более выдержанный состав и свойства.

Из 464 секционных проб каолина-сырца были выделены фракции с размером частиц менее 63 мкм в качестве проб обогащенного каолина. Согласно расчетам, средний выход обогащенного каолина из сырца первого природного сорта (собственно каолина по микроклинизированным и лейкократовым гранитам) составил 45.7% (от 41 до 51%), для третьего природного сорта (собственно каолины по плагиогранитам) выход более значительный – среднее 57.5% (от 45.7 до 65.8%). Выход обогащенного продукта из щелочных каолинов наиболее низкий – среднее 39.0% (от 23.1 до 49.7%).

Следует в целом признать, что обогащение по классу –63 или –56 мкм не гарантирует получение обогащенного продукта с содержанием Al_2O_3 , равным или превышающим 36%, как это предусмотрено рядом государственных стандартов, что объясняется присутствием в нем повышенной примеси тонкодисперсного кварца и микроклина. На современном этапе развития технологии обогащения целесообразно проводить промышленное обогащение каолинов по классу –20 мкм, что обеспечивает максимальное удаление примесей и стабилизирует состав и качество конечного продукта обогащения.

ОБОГАЩЕННЫЙ КАОЛИН

Пробы обогащенного каолина изучены с применением разнообразных методов исследования: химико-аналитического, рентгено-графического фазового, термографического, оптико-микроскопического и др. При этом главное внимание было обращено: в химическом составе на содержание Al_2O_3 , K_2O и оксидов Fe и Ti, поскольку последние влияют на окраску каолина до и после его термической обработки; в минеральном составе на количественные соотношения каолини-та с минералами-примесями.

Химический состав обогащенных каолинов приведен в табл. 5.

Из сопоставления приведенных в таблице данных следует, что обогащенный продукт, выделенный из щелочных каолинов, отличается устойчиво пониженным содержанием Al_2O_3 по сравнению с продуктами обогащения собственно каолинов. Выявлено также, что в обогащенном каолине по плагиогранитам присутствует значительно больше TiO_2 , чем в тех же каолинах по микроклиновым гранитам. В то же время для средних содержаний Fe_2O_3 наблюдается обратное соотношение (~ в 2 раза). В обогащенном каолине, выделенном из щелочного сырца, содержание K_2O всегда пре-

Таблица 5. Сопоставление химических составов обогащенных каолинов, выделенных из разных типов каолина-сырца

Статистические характеристики	SiO ₂			Al ₂ O ₃			Fe ₂ O ₃		
	1*	2	3	1	2	3	1	2	3
Среднее	48.4	51.3	48.7	35.9	52.86	35.95	0.76	0.81	0.36
Стандартное отклонение	1.31	1.22	1.54	0.89	1.31	0.47	0.19	0.15	0.26
Коэффициент вариации	2.71	2.38	3.16	2.48	3.98	1.30	25.0	18.5	72.2
Статистические характеристики	TiO ₂			K ₂ O			п.п.п		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Среднее	0.12	0.13	0.85	0.82	3.11	0.18	13.04	11.05	13.43
Стандартное отклонение	0.036	0.05	0.43	0.37	0.61	0.048	0.68	0.65	0.54
Коэффициент вариации	33.3	38.5	51.8	45.1	19.6	80.0	5.2	5.9	4.0

Примечание. * 1 – собственно каолин по микроклинсодержащим гранитоидам; 2 – щелочной каолин по микроклинсодержащим гранитоидам; 3 – собственно каолин по гранитоидам типа плагиогранитов.

вышает (в 4–10 раз) аналогичный показатель собственно каолинов. Это связано с тем, что присутствующие в составе щелочного сырца многочисленные зерна микроклина благодаря процессу каолинизации пертитовых вростков и внутрикристаллическому растворению самого микроклина приобретают высокую хрупкость и при подготовке каолина к обогащению распадаются на множество мелких частиц, значительная часть которых имеет размеры сопоставимые с каолинитовыми. В связи с этим, чем больше микроклина содержится в сырце, тем больше его переходит в обогащенный продукт. По выборкам анализов, характеризующих обогащенные продукты, проведены статистические расчеты. Во всех трех выборках наблюдаются устойчивые отрицательные (SiO₂-Al₂O₃, SiO₂-п.п.п., Al₂O₃-K₂O, K₂O-п.п.п.) и положительные (Al₂O₃-п.п.п.) статистические связи главных компонентов химического состава обогащенных каолинов. В то же время для обогащенного каолина, полученного из каолина-сырца по плагиограниту, характерны значимые связи: Fe₂O₃-Al₂O₃ (отрицательные) и TiO₂-Al₂O₃ (положительные), которые в первых двух матрицах являются незначимыми. Все эти расхождения объясняются особенностями состава каолинов, сформированных по плагиогранитам, в которых, в отличие от каолинов по микроклинитовым гранитоидам, имеют место значительные вариации содержания Fe₂O₃ и TiO₂, и, напротив, общий низкий фон содержания K₂O. Токсичные элементы присутствуют в обогащенном продукте в незначительных количествах и не представляют опасности.

Гранулометрический состав. Наиболее дисперсными являются обогащенные продукты, выделенные из щелочных каолинов: в них содержание частиц менее 2 мкм варьирует от 35 до 67%, в

то время как для собственно каолинов аналогичный показатель – 20–43%. Возможно, в верхней подзоне профиля выветривания происходит некоторая перекристаллизация каолинита. Следует отметить, что наименьшая дисперсность характерна для каолиновых продуктов, выделенных из каолинов по плагиогранитам (содержащие фракции менее 2 мкм не более 30%). В целом обогащенный каолин можно отнести к материалам умеренно дисперсным. Не исключено, что длительная обработка обогащенного каолина методами, обеспечивающими расщепление по плоскостям спайности кристаллов каолинита (деламинация), может существенно повысить его дисперсность.

Минеральный состав. В обогащенном каолине доминируют минералы группы каолинита – смесь изоструктурных разновидностей каолинита с различной степенью структурного совершенства, а также, в подчиненном количестве, 7Å-галлуазит. Обогащенный каолин содержит, помимо каолинитовых минералов, частицы реликтовых минералов: кварца, микроклина, серицита. Для определения количественных соотношений указанных минералов, учитывая субколлоидальную размерность большей части частиц, применялся рентгеновский фазовый анализ. Были проанализированы 40 проб, в которых, по данным химического анализа, присутствовали все градации в количественных соотношениях Al₂O₃ и K₂O. Количественная оценка минерального состава проб обогащенного каолина проведена с использованием компьютерной обработки данных РФА [Ивойлова, Горбачев, 2000]. Как следует из полученных результатов (табл. 6), серицит и калиевый полевой шпат в большинстве случаев присутствуют в пробах совместно: первый отсутствует лишь в 5 пробах, второй – в 14 пробах, что явно свиде-

Таблица 6. Содержание минералов в обогащенных каолинах, по данным РФА

Вид каолина-сырца	Каолинитовые минералы	Кварц	Микроклин	Мусковит (серицит)	Смешаннослойные минералы
Собственно каолины	$\frac{82-98}{88}$	$\frac{3-12}{6.5}$	$\frac{0-4}{0.5}$	$\frac{0-8}{5}$	–
Щелочные каолины	$\frac{64-86}{77}$	$\frac{5-12}{7}$	$\frac{3-23}{9}$	$\frac{0-12}{7}$	Следы
Щелочные каолины слюдистые	$\frac{31-60}{50}$	$\frac{10-18}{10}$	$\frac{0-42}{14}$	$\frac{21-30}{24}$	$\frac{0-5}{2}$
Глинисто-дресвяные образования	$\frac{31-54}{50}$	$\frac{7-10}{9}$	$\frac{16-42}{25}$	$\frac{10-13}{11}$	$\frac{2-10}{5}$

Примечание. В числителе пределы колебания, в знаменателе – среднее.

тельствует о большей устойчивости слюды в условиях каолинового выветривания. Содержание каолиновой составляющей в изученных пробах – от 31 до 94%, серицита – 0–23.5%, калиевого полевого шпата – 0–42%, кварца – 3–21%. Смешаннослойные минералы обнаружены преимущественно в глинисто-дресвяных продуктах выветривания, реже – в составе щелочных каолинов. При этом, в обогащенном продукте, полученном из собственно каолинов, присутствует не более 8% калийсодержащих минералов, в то время как в аналогичном продукте, выделенном из щелочных каолинов, они составляют 8–30%. Выявлены отдельные пробы, в которых серицит составляет от 20 до 30% обогащенного продукта.

Интегральная оценка коэффициента упорядоченности структуры каолинита по Хинкли составляет в среднем 0.8–0.9, изредка повышаясь до 1.0–1.2. Присутствующий в виде примеси 7Å-галлуазит, имеющий по данным электронно-микроскопических наблюдений преимущественно трубчатую морфологию, понижает значение индекса Хинкли. Слюда (серицит), присутствующая в большинстве проб, представлена частично каолинизированным мусковитом (гидромусковитом) политипной модификации 2M₁.

Согласно данным ЯГР, основная часть железа присутствует в обогащенном каолине в форме самостоятельных минералов, преимущественно оксидов. Изоморфное железо, входящее в структуру каолинитовых минералов и серицита, имеет подчиненное значение. Этот факт позволяет предполагать положительные результаты рафинирования обогащенных каолиновых продуктов методами химического и биохимического отбеливания.

Титан присутствует в обогащенном каолине в основном в форме анатазового лейкоксена. Однако следует отметить, что в продуктах обогащения, полученных из каолинов, сформированных при выветривании гранитоидов, обогащенных

биотитом, минералы титана содержатся в максимальных количествах – до 3–4%.

По содержанию CaO и SO₃ практически все пробы обогащенного каолина отвечают нормативным требованиям. Содержание воднорастворимых солей Ca, Mg и Na в водных вытяжках также ниже допустимых значений.

Свойства обогащенных каолинов находятся в функциональной зависимости от особенностей их химического и минерального состава, дисперсности, кристаллохимии каолинитовых минералов, а также от присутствия специфических примесей, например, органического вещества угольного ряда.

Показателем, лимитирующим возможность применения обогащенного каолина в производстве бумаги, тонкой керамики и ряда других изделий, является его белизна (% отражения лучей голубой части спектра) как до, так и после обжига до 1350°C. В табл. 7 приведены полученные при этом результаты замеров белизны для трех природных типов каолина.

Очевидно, что обогащенные продукты, полученные из каолина 1 и 2, до обжига близки по белизне и занимают лидирующее положение, в то время как продукт обогащения каолина-сырца, сформированного при выветривании плагиогранитов, имеет в среднем пониженную белизну. После обжига обогащенные каолины 1 и 3 повышают свою белизну, а у каолина 2 она понижается, что в первую очередь обусловлено присутствием легкоплавкого микроклина. Корреляционный анализ (табл. 8) подтверждает наличие отрицательной статистической зависимости белизны каолина от содержаний Fe₂O₃ и TiO₂, наиболее четко проявленную для каолина 3. Можно полагать, что в качестве наполнителя (бумаги и пр.) наиболее пригодны продукты обогащения каолина 1 и 2.

Геологические свойства характеризуют способность обогащенного каолина создавать устойчивую водную суспензию с необходимой плотно-

Таблица 7. Средние значения коэффициента белизны (%) обогащенных каолинов

Коэффициент белизны	Природные типы каолина		
	1	2	3
Среднее	78.2/80.6	76.8/67.6	72.4/80.4
Максимальное	88.2/87.5	85.5/80.5	84/86
Минимальное	58.3/74.1	59.5/45.5	52/64
Станд. отклонение	7.9/4.7	6.0/7.3	11.2/6.6
Коэфф. вариации	10.1/5.8	7.8/10.8	15.5/8.2

Примечание. Числитель – для сухого каолина, знаменатель – для прокаленного.

стью или же образовывать пластичную массу (тесто). В отношении пластичности обогащенные каолины Южно-Ушкотинского месторождения могут быть отнесены к непластичному и малопластичному глинистому сырью. Соответственно они проявляют и низкую механическую прочность на изгиб в сухом состоянии с разбросом значений от 0.15 до 2.25, наиболее часто 0.6–0.7 МПа. Порог структурообразования практически не зависит от каких-либо других характеристик обогащенного каолина, значения его меняются в довольно широком диапазоне – от 1.04 до 1.16 г/м³. Преобладают пробы с достаточно высоким порогом структурообразования – 1.1 г/м³ и выше, что указывает на возможность получения устойчивой суспензии с достаточной плотностью. Изучение разжижаемости проводилось на 43 пробах каолина 1 (с целью минимизации влияния полевого шпата). Из них около 30% были отнесены к трудно разжижаемым. По химическому и минеральному составу они если не идентичны, то мало отличимы от расположенных вблизи их разжижаемых

каолинов. Причина неразжижаемости, скорее всего, имеет электрохимическую природу и зависит от заряда сольватных оболочек. Неразжижаемость каолина может создать затруднения при приготовлении шликера на керамических предприятиях.

Керамические свойства полная усадка (обжиг до 1350°C) варьирует от 9.2 до 16.8%; соответственно варьирует и водопоглощение керамического черепка – каолин при содержаниях K₂O менее 2% образует черепок со средним водопоглощением 13.9%, при содержаниях 2–5% со средним водопоглощением 6–7%. Таким образом, спекаемость обогащенного каолина находится в зависимости от количественных соотношений в нем каолина и щелочесодержащих минералов (калиевый полевой шпат + мусковит). Статистическая обработка результатов определения керамических свойств каолинов показана в табл. 8.

При этом выявилась положительная связь между содержаниями Fe₂O₃ и TiO₂ и отрицательная – между этими химическими компонентами и водопоглощением Среднее значение водопоглощения является при этом довольно высоким (около 14%), что свидетельствует о неспекаемости большей части проб обогащенных каолинов, несмотря на присутствие некоторого количества K₂O-содержащих минералов.

Огнеупорность каолиновых концентратов, полученных при обогащении каолина сырца 1 и 2, довольно высокая – в среднем 1755°C. Концентраты с содержанием более 2% K₂O снижают огнеупорность от 1730°C и ниже.

Песчаные отходы обогащения. Утилизация отходов весьма желательна по экологическим и хозяйственным соображениям. Выход фракции более 63 мкм при обогащении объединенных проб каолина-сырца варьирует от 37 до 73.2%. Из

Таблица 8. Статистические связи между компонентами состава обогащенного каолина и его керамическими свойствами (N = 60)

Показатели	Среднее	Минимальное	Максимальное	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Al ₂ O ₃ , %	34.75	27.53	37.41	1.77	5.1
K ₂ O, %	1.32	0.01	4.04	1.21	91.7
Fe ₂ O ₃ , %	0.71	0.04	2.85	0.35	49.3
Усадка полная	13.17	9.20	20.40	1.86	14.2
Водопоглощение	13.87	0.40	29.40	6.42	46.3
Матрица	Al ₂ O ₃	K ₂ O		Fe ₂ O ₃	Усадка полная
Al ₂ O ₃	1.00				
K ₂ O	<u>-0.77</u>	1.00			
Fe ₂ O ₃	<u>-0.44</u>	<u>0.41</u>	1.00		
Усадка полная	<u>-0.45</u>	0.16	-0.05		1.0
Водопоглощение	0.68	<u>-0.69</u>	<u>-0.30</u>		<u>-0.56</u>

Таблица 9. Содержание главных компонентов химического состава “песков”

Группы каолина-сырца	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	R ₂ O	п.п.п.
1	94.86	2.6	0.45	0.05	0.6	0.70
2	90.74	4.5	0.50	0.03	2.74	0.22
3	97.40	1.0	0.6	0.02	0.02	0.65

каолинов природного сорта 1 и 2 – выход 60.4% и 60.2% (среднее из 32 проб). Для каолина-сырца 3 средний выход составил 44.2%. Гранулометрический состав “песков”, выделенных из сырца 1 и 2, отвечает среднему модулю крупности 2.6 (от 2.1 до 4.4). Этот же показатель для сырца 3 равен 2.2 (от 1.0 до 3.5). Следовательно, в первом случае преобладают “пески” средние и крупные, до очень крупных, во втором – средние с отклонениями до крупных и мелких. Химический состав “песков” (табл. 9) хорошо согласуется с соотношениями в них кварца и K₂O-содержащих минералов: микроклина, мусковита (серицита). Микроклин наблюдается в фракциях от 1.6 мм до 0.063 мм. Максимальное его содержание в “песках” свойственно щелочным каолинам – 15–20%, иногда до 30%. Содержание мусковита (серицита) очень изменчиво и зависит от его непостоянного содержания в исходных гранитоидах. Большая часть слюды представлена мелкочешуйчатой разностью (серицит). Относительно крупночешуйчатый серицит (–1.0 + 0.63 мм) содержит 7.5% K₂O. Содержание серицита возрастает по мере уменьшения размерности фракций “песков” – в большинстве случаев не более 5%, в ряде проб до 20%. Степень каолинизованности серицита повышается по мере уменьшения размера его частиц; соответственно снижается содержание K₂O – до 4–5%. В “песках”, полученных при обогащении сырца по плагиогранитам и биотитовым гранитам, отмечается присутствие не более 5% псевдоморфоз каолинита по биотиту. Рудные минералы присутствуют в основном во фракциях менее 0.315 мм в виде черных, темно-коричневых и бурых зерен. По результатам термомагнитного (ДТМА) и рентгенофазового (РФА) анализов среди них присутствуют гётит, гематит, магнетит, маггемит, лепидокрокит, ильменорутил. На эти минералы приходится не более 0.5% Fe₂O₃, присутствующего в “песках”.

Из песков могут быть получены с применением оттирки и дробления чистые кварцевые концентраты (1.25–0.4 мм) для производства стекла, керамики, изготовления сварочных и формовочных материалов и пр. Более мелкие фракции, что особенно характерно для щелочных каолинов, являются полиминеральными: полевошпатово-кварцевыми, серицит-кварцевыми или же сери-

цит-полевошпатово-кварцевыми, пригодными в основном для строительных работ, однако из них комплексом методов сепарации могут быть получены ценные коммерческие продукты – концентраты белого высококалийного микроклина и светлой мелкозернистой слюды. Микроклин находит применение в производстве различных видов керамики, стекла, а мусковит (серицит) – при изготовлении красок, обоев, рубероида, резино-технических изделий, цемента и пр.

КАЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ

Каолиновый концентрат оценивался с точки зрения возможности его использования в четырех основных производствах: тонкой керамики, бумаги, резинотехнических изделий и синтетических материалов, шамотных изделий. При этом оценка проведена дифференцировано в отношении трех выделенных природных (минерально-промышленных) типов каолина-сырца. Лимитирующими показателями послужили содержания Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, коэффициент белизны и выход обогащенного продукта (фракция менее 63 мкм). Приведенные в табл. 10 показатели сопоставлены с предельными значениями, регламентированными ГОСТами: 21286-82 – для керамических изделий, 19285-73 – для производства бумаги, 19608-84 – для резинотехнических изделий.

В контуре подсчета запасов залежи № 1 для производства керамики могут быть использованы 68.4% обогащенных собственно каолинов, из них 25.4% для производства фарфора. Для производства бумаги и картона (в качестве наполнителя) пригодны 63.8% проб обогащенного собственно каолина и 42.8% обогащенного щелочного каолина, для изготовления шамотных изделий – 95.7 и 68.7%, резинотехнических изделий и искусственных кож и тканей – 98.8 и 97.8%, соответственно.

Месторождение в целом (5 залежей) имеет подобные показатели несколько сниженные или же близко приближающиеся к вышеприведенным: керамические изделия – 65.3% (22% для фарфора); бумага и картон – 60.6 и 42.8%; шамотные изделия – 97.5 и 69%, резинотехнические изделия – 99.3 и 97.9%.

На достигнутой стадии изученности каолины Южно-Ушкотинского месторождения по содержанию высоких марок для керамики и бумаги занимают положение между каолинами месторождений Союзное (Казахстан) и Журавлиный Лог (Челябинская область, Россия).

Получение из песчаных отходов обогащения концентратов чистого кварца и высококалийного микроклина увеличит потенциальную ценность

Таблица 10. Основные показатели обогащенных каолинов Южно-Ушкотинского месторождения

Показатели, %	Тип каолина									
	I. Собственно каолин по микроклиновым лейкократовым гранитоидам			II. Щелочной каолин по микроклиновым лейкократовым гранитоидам				III. Собственно каолины по плагиогранитам и биотитовым гранитам		
	Ср.	σ	V	Ср.	C	σ	V	Ср.	σ	V
Al ₂ O ₃	35.9	0.89	2.48	32.86	3	1.31	398	35.95	0.47	1.30
Fe ₂ O ₃	0.76	0.19	25.0	0.81	0	0.15	18.5	0.36	0.26	72.2
TiO ₂	0.12	0.04	33.3	0.13	0	9.05	38.5	0.83	0.43	51.8
Коэффициент белизны	78.2	7.9	10.1	76.8	7	6.0	7.8	72.4	11.2	15.5
Выход обогащенного каолина	45.7			39.87	3			57.5		

Примечание. σ – стандартное отклонение; V – коэффициент вариации.

сырья и должно повысить его привлекательность для инвесторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Запасы Южно-Ушкотинского месторождения элювиальных каолинов (залежь № 1) оценены и утверждены в количестве: категория C₁ + C₂ – 38494.4 тыс. т, в т.ч. щелочного – 22494 тыс. т.

Месторождение заслуживает более детально-го изучения (разведочная стадия) с последующим промышленным освоением.

Каолины месторождения способны к обогащению по технологии мокрого безэлектролитного обогащения с доводкой песчаных отходов (отсев фракции менее 0.14 мм, флотация, сушка, магнитная сепарация) с целью получения, наряду с каолинитовым концентратом, концентратов чистого кварца и высококалийевого микроклина.

К этому следует добавить, что гидрогеологические, инженерно-геологические и горнотехнические характеристики месторождения благоприятствуют открытой разработке каолинов. Об этом свидетельствует малая глубина залегания каолинов, удовлетворительная устойчивость вскрышных пород и каолинов, незначительный приток подземных вод в горные выработки (максимально 1.04 м³/сут).

Строительство и ввод в эксплуатацию горно-обогатительного предприятия на базе Южно-Ушкотинского месторождения послужило бы весомым вкладом в создание полноценной минерально-сырьевой базы каолинов в Российской Федерации и, одновременно, усиления промышленного потенциала восточных районов Оренбургской области. Рассчитанные варианты технико-экономических показателей такого предприятия позволяют надеяться на его высокую рентабельность.

Благоприятное географическое положение, малая удаленность от железнодорожных путей, обнадеживающие параметры состава и свойств, наличие достаточно развитой инфраструктуры определяют целесообразность скорейшего освоения месторождения и тем самым создания в Оренбургской области новой сырьевой базы производства высококачественных каолиновых продуктов, в чем так заинтересованы отечественные потребители. В Орском Зауралье перспективы для дальнейших поисков элювиальных каолинов далеко не исчерпаны. Выявление Южно-Ушкотинского месторождения явилось, по существу, подтверждением прогнозных построений относительно высокой перспективности территории восточной зоны Орского Зауралья (Адамовский, Домбаровский, Светлинский, Ясненский административные районы Оренбургской области), на территории которых прогнозные ресурсы каолинов категории P₂ оцениваются в количестве 1 млрд. т, причем не менее 10% следует отнести к каолинам высокого качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белов В.В.* Генетические, минеральные и промышленные типы месторождений каолинов на Урале и их связь с образованием древних кор выветривания // Коры выветривания Урала. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1969. С. 195–197.
- Блохинцева В.П., Иванов В.В.* Мугоджары – новая сырьевая база высококачественных каолинов // Генезис и ресурсы каолинов и огнеупорных глин. М.: Наука, 1990. С. 105–111.
- Горбачев Б.Ф.* Закономерности формирования и локализации месторождений каолинов в корах выветривания // Условия формирования кор выветривания и их минеральных месторождений. М.: Наука, 1983. С. 22–28.
- Горбачев Б.Ф., Васянов Г.П.* Геологические критерии прогнозирования и поисков месторождений остаточ-

ных и переотложенных месторождений коры выветривания Урала // Советская геология. 1970. № 10. С. 96–107.

Горбачев Б.Ф., Васянов Г.П. Каолины Мугоджар и закономерности их размещения // Литология и полез. ископаемые. 1974. № 5. С. 18–26.

Горбачев Б.Ф., Корнилов А.В., Гонюх В.М. Комплексная оценка качества каолинов // Разведка и охрана недр. 2000. № 9. С. 38–40.

Грабежев А.И., Бирюков В.М., Федоров В.И. К металлогении западной части Восточно-Мугоджарского поднятия // Ежегодник-1979. Свердловск: Институт геологии и геохимии Уральского НЦ АН СССР, 1980. С. 119–121.

Ивойлова Э.Х., Горбачев Б.Ф. Компьютерный анализ состава каолинов // Разведка и охрана недр. 2000. № 9. С. 35–36.

Методические рекомендации по средне- и крупномасштабному прогнозированию месторождений элювиальных каолинов. Казань: ВНИИГеолнеруд, 1984. 66 с.

Петров В.П. Каолиновые месторождения СССР // Каолиновые месторождения и их генезис. Доклады к XXIII МГК. М.: Наука, 1968. С. 7–12.

Прогнозная оценка зон гипергенеза на твердые полезные ископаемые при геологической съемке масштаба 1 : 50 000–1 : 200 000 // Под. ред. Михайлова Б.М. СПб.: Недра, 1998. 150 с.

Степанов А.П., Герасименко Л.Ф. Каолины Оренбургского Урала // Каолины. М.: Наука, 1974. С. 61–66.