

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.3.79-90>

УДК 553.611.6

Бентонитовые глины России и стран ближнего зарубежья

П.Е. Белоусов¹, В.В. Крупская^{1,2}*¹Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Бентонитовые глины являются важным природным материалом, широко используемым во многих отраслях промышленности. Цель данной статьи состояла в проведении анализа минерально-сырьевой базы бентонитовых глин России. Приведены данные по запасам месторождений, степени их освоения и объемам добычи. Охарактеризован состав и направления использования основных разрабатываемых месторождений бентонитовых глин России. Проведен сравнительный анализ прироста запасов и добычи бентонита за последнее десятилетие. Дана краткая характеристика мировой ситуации, а также рассмотрена минерально-сырьевая база стран СНГ. Поскольку качество сырья, его свойства и запасы напрямую зависят от условий образования, дана характеристика геолого-тектонической позиции и генезиса месторождений бентонитовых глин России. Рассмотрены бентонитовые провинции с благоприятными условиями для образования месторождений вулканогенно-осадочного генезиса. Предложены наиболее перспективные регионы для целей расширения минерально-сырьевой базы бентонитового сырья. Данная работа является результатом собственных геологических работ авторов на различных месторождениях бентонитовых глин России, ближнего и дальнего зарубежья, а также изучения и интерпретации опубликованных материалов по данной тематике за последние десятилетия.

Ключевые слова: бентонит, монтмориллонит, глины, бентонитовые провинции, генезис бентонита, промышленные минералы, месторождение 10-й Хутор, Тихменевское месторождение, угольные бассейны, Дальний Восток

Для цитирования: Белоусов П.Е., Крупская В.В. (2019). Бентонитовые глины России и стран ближнего зарубежья. *Георесурсы*, 21(3), с. 79-90. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.3.79-90>

Введение

Основным пороодообразующим компонентом бентонитовых глин является преимущественно монтмориллонит (> 60-70%), в свою очередь входящий в группу смектита. В качестве примесных компонентов встречаются кварц, полевые шпаты, кальцит, редко пирит и органическое вещество, а также другие глинистые минералы – каолинит, иллит, смешанослойные глинистые минералы, реже хлорит и вермикулит. Смектиты представляют собой гидратированные алюмосиликаты, состоящие из двух тетраэдрических и расположенной между ними одной октаэдрической сетки, образующих слой 2:1. Благодаря изоморфным замещениям в составе октаэдрических и тетраэдрических сеток формируется отрицательный заряд слоя, который компенсируется межслоевыми катионами и обеспечивает высокие сорбционные свойства бентонитовых глин (Дриц, Коссовская, 1990). Для монтмориллонита характерна преимущественная локализация заряда в составе октаэдрических сеток, что приводит к высокой сорбции катионов и органических компонентов.

По характеру обменных катионов в составе межслоевого комплекса монтмориллонита, бентонитовые глины подразделяются на щелочные (натриевые) и щелочноземельные (кальций, магний) типы. Щелочные бентониты обладают более высокими технологическими свойствами по сравнению с щелочноземельными, в связи с тем, что ионы щелочных металлов, в первую

очередь натрия, имеют более высокий потенциал гидратации (Осипов, Соколов, 2013). В результате, набухание Na-монтмориллонитов значительно выше, чем Ca-монтмориллонитов. Также на свойства бентонитов оказывает влияние локализация заряда. Высокие сорбционные показатели и высокая набухаемость связаны с отсутствием заряда в тетраэдрической сетке, напротив, появление небольшой доли тетраэдрического заряда приводит к уменьшению сорбционной способности и снижению набухания. В той же степени на сорбционные показатели влияет и показатель средней величины заряда слоя – снижение сорбционной емкости при увеличении или излишнем снижении величины заряда слоя.

Указанные особенности структуры монтмориллонита определяют специфические свойства, такие как связующая и сорбционная способность, термостойкость и др. Таким образом, бентонитовые глины имеют важное значение и рассматриваются как перспективное и широко используемое промышленное сырье. По объему потребления, наиболее важными направлениями применения бентонитовой глины в России, как и в других странах, являются:

- **Захоронение радиоактивных отходов** – в роли сорбента и гидроизоляционного материала инженерных барьеров безопасности;

- **Металлургия** – как связующий агент при окомковании железорудного концентрата;

- **Бурение** – при приготовлении буровых растворов для смазки и охлаждения буровой головки и промывки скважины от шлама при вертикальном и горизонтально-направленном бурении и туннелировании;

* Ответственный автор: Виктория Валерьевна Крупская
E-mail: krupskaya@ruclay.com, pitbl@mail.ru

© 2019 Коллектив авторов

- **Литейное производство** – в роли связующего агента в песчано-глинистых формах при литье чугуна и стали;

- **Гражданское строительство** – технология «стена» в грунте, а также в виде добавок в цементные растворы.

Всего же насчитывается более 200 направлений применения бентонитовых глин и материалов на их основе, включая сельское хозяйство, резиновую, полимерную, бумажную промышленность, медицину и т.п. Для России, довольно новым и многообещающим направлением является использование бентонитов для захоронения радиоактивных отходов, в роли гидроизоляционного и сорбционного материала (Крупская и др., 2018).

2. Запасы и объемы добычи

2.1. Общие сведения

Ориентировочные мировые запасы бентонитовой глины составляют более 10 миллиардов тонн, примерно 45% из которых находятся в Китае, 15% в США и 7% в Турции (Industrial Minerals, 2012). В список стран, обладающих наибольшими запасами бентонитов, также необходимо добавить Грецию, Россию, Индию и страны СНГ. Стоит отметить, что большинство месторождений относятся к щелочноземельному типу. Крупнейшие месторождения щелочного бентонита расположены в США (м-е Вайоминг), Турции (м-е Ресадий) и Азербайджане (м-е Даш-Салахлинское) (British Geological Survey, 2015; United States Geological Survey..., 2017).

За последние 10 лет ежегодная добыча бентонитовой глины постоянно растет. По данным Геологической

службы США (United States Geological Survey..., 2017), в период с 2008 по 2017 г. добыча бентонитовой глины возросла с 12 до 19 млн т. Примерно треть объема добычи приходится на США. Второе место (23%) по объему добычи занимает Китай.

2.2. Россия

Ориентировочные запасы бентонитовой глины в России составляют 189 млн т по категории А+В+С₁ и 146 млн т по категории С₂. Суммарная добыча за 2017 год составила более 700 тыс. тонн. По классификации государственных балансовых запасов полезных ископаемых за 2018 год, месторождения бентонитовых глин включены в группу «Глины бентонитовые», а также частично в группу «Глины для буровых растворов» и «Формовочные материалы».

Значительная часть месторождений России (рис. 1) относится к группе «Глины бентонитовые», которая включает в себя 22 месторождения, с ориентировочными балансовыми запасами в 101 млн т по категории А+В+С₁ (табл. 1) и 58 млн т по категории С₂ (Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации: Глины Бентонитовые, 2018). Основные запасы приходятся на Респ. Татарстан (43,8%), Омскую (20%) и Курганскую (13,8%) области. На начало 2018 года добыча велась только на 4х месторождениях: 10й Хутор (Респ. Хакасия) с запасами по категории А+В+С₁ в 3 млн т, Биклянское и Березовское (Респ. Татарстан) с общими запасами в 37,9 млн т и Зырянское (Курганская обл.) с запасами в 14 млн т (8,6 по категории С₂). Также стоит

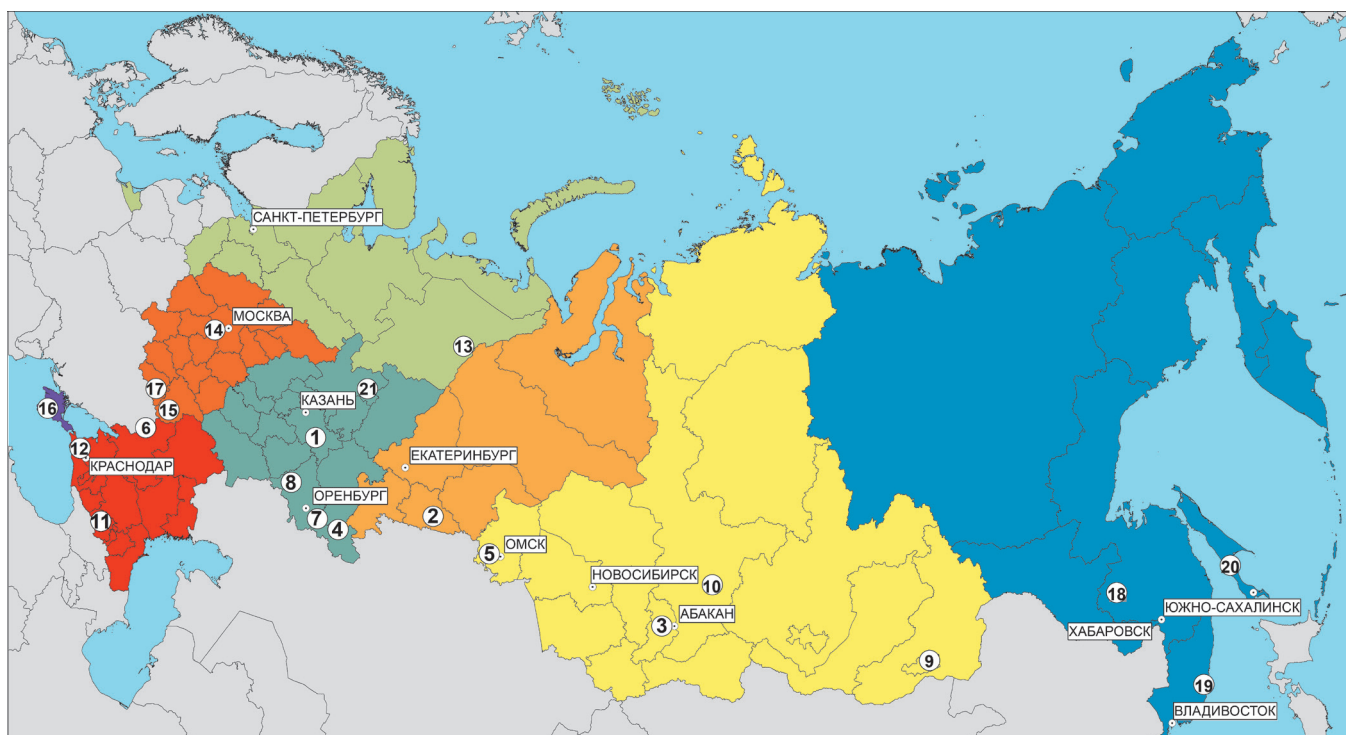


Рис. 1. Обзорная карта месторождений бентонитовых глин России. 1 – Биклянское, Березовское, Верхне-Нурлатское, Тарн-Варское (Респ. Татарстан); 2 – Зырянское (Курганская обл.); 3 – 10й Хутор (Респ. Хакасия); 4 – Ижбердинское, Сарайбашиское, Саринское, Участок Вьюжный-2 (Оренбургская обл.); 5 – Люблинское (Омская обл.); 6 – Тарасовское, Южно-Тарасовское (Ростовская обл.); 7 – Активное, Желтое (Оренбургская обл.); 8 – Соболевское (Оренбургская обл.); 9 – Харанорское (Забайкальский край); 10 – Камалинское (Красноярская обл.); 11 – Нальчинское, Хеу, Герпегежское (Респ. Кабардино-Балкария); 12 – Черноморское (Краснодарский край); 13 – Бадьинское (Респ. Коми); 14 – Калиново-Дашковское (Московская обл.); 15 – Никольское, Майдан-Бентонитовое (Воронежская обл.); 16 – Кудринское, Курцовское (Респ. Крым); 17 – Участок Самаринский (Белгородская обл.); 18 – Угральское (Хабаровский край); 19 – Зеркальное (Приморский край); 20 – Тихменевское (Сахалинская обл.); 21 – Васильевское, Чернохолуницкое (Кировская обл.).

| Месторождение | Географическое положение | Тип, генезис | Возраст | Запасы А+В+С ₁ млн т. | Геотектоническая позиция |
|----------------------------------|--------------------------|---|--------------------|-------------------------------------|---|
| <i>Ведется добыча</i> | | | | | |
| Биклянокское, Березовское | Респ. Татарстан | Щелочно-земельный, осадочный | N ₂ | 37,9 | Волго-Уральская антеклиз |
| Зырянское | Курганская обл. | Щелочно-земельный, осадочный | N ₁ | 14 | Зауральское поднятие |
| 10й Хутор | Респ. Хакасия | Щелочно-земельный, вулканогенно-осадочный | C _{1-2sr} | 3 | Алтае-Саянская складчатая область |
| <i>Неразрабатываемые</i> | | | | | |
| Любинское | Омская обл. | Щелочно-земельный, осадочный | N ₁ | 20,3 | Ишимско-Иртышская моноклиз |
| Верхнее-Нурлатское, Тарн-Варское | Респ. Татарстан | Щелочно-земельный, осадочный | N ₂ | 6,7 | Волго-Уральская антеклиз |
| Нальчинское, Хеу | Респ. Кабардино-Балкария | Щелочной, Щелочно-земельный, вулканогенно-осадочный | P ₁ | 6,6 | Предкавказский краевой прогиб |
| Участок Вьюжный-2 | Оренбургская обл. | Щелочно-земельный, осадочный | K ₂ | 6,4 | Предуральский краевой прогиб |
| Южно-Тарасовское | Ростовская обл. | Щелочно-земельный, осадочный | P ₂ | 3,1 | Воронежская антеклиз |
| Каратигейское, Солнечное | Респ. Хакасия | Щелочно-земельный, вулканогенно-осадочный | C _{1-2sr} | 3 | Алтае-Саянская складчатая область |
| Кудринское, Курцовское | Респ. Крым | Щелочной, Щелочно-земельный, вулканогенно-осадочный | K ₂ | 0,4 | Горно-Крымское складчато-надвиговое сооружение* |
| Ургальское | Хабаровский край | Щелочно-земельный, вулканогенно-осадочный | K ₁ | 0,3 | Сихотэ-Алинская складчатая область |
| Зеркальное | Приморский край | Щелочно-земельный, вулканогенно-осадочный | P ₂ | 0,1 | Сихотэ-Алинская складчатая область |
| Васильевское, Чернохолуницкое | Кировская обл. | Щелочно-земельный, осадочный | J ₂ | - C ₂ – 4,8 | Волго-Уральская антеклиз |
| Участок Самаринский | Белгородская обл. | Щелочно-земельный, осадочный | P ₂ | - C ₂ – 4 | Воронежская антеклиз |
| Тихменевское | Сахалинская обл. | Щелочной, вулканогенно-осадочный | N ₁ | - C ₂ – 0,7 | Центрально-Сахалинская впадина |

Табл. 1. Балансовые запасы месторождений по категории «Глины бентонитовые». *(Сабитов, Беляев, 2018).

отметить Южно-Тарасовское месторождение (Ростовская обл.) с запасами в 3,1 млн т по категории А+В+С₁ и 19,1 млн т по С₂, Участок Вьюжный 2 (Оренбургская обл.) с запасами в 6,4 млн т по категории А+В+С₁ и 22,8 млн т по С₂, которые на данный момент не разрабатываются, но относятся к списку перспективных месторождений России.

В распределенном фонде недр подготовлено к освоению месторождения Хеу (Респ. Кабардино-Балкария), а также Солнечное и Каратигейское (Респ. Хакасия), с общими запасами по категории А+В+С₁ – 4,7 млн т, С₂ – 795 тыс. т. В нераспределенном фонде числятся 14 месторождений с суммарными запасами по категории А+В+С₁ – 59,4 млн т и С₂ – 56,8 млн т. Разведочные работы ведутся на Тихменевском месторождении (Сахалинская обл.) с запасами по категории С₂ – 702 тыс. т.

Общая добыча в 2017 году составила 574 тыс. т бентонитовой глины. Основная их часть была добыта в Респ.

Хакасия на месторождении 10й Хутор (82%), в Респ. Татарстан на Биклянском и Березовском месторождениях (14,2%), а также в Курганской обл. на Зырянском месторождении (3,8%).

В группе «Глины для буровых растворов» (Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации: Глины для буровых растворов, 2018), числятся 10 месторождений глин монтмориллонового состава, которые так же относятся к бентонитовым и бентонитоподобным глинам. Ориентировочные балансовые запасы этих месторождений составляют 61,9 млн т по категории А+В+С₁ (табл. 2) и 62 млн т по категории С₂. К ним относятся (категория А+В+С₁): Ижбердинское, Сарайбашское, Активное, Желтое, Саринское и Соболевское (Оренбургская обл.) с запасами 40,1 млн т, Харанорское (Забайкальский край) с запасами 8,4 млн т, Бадьинское (Респ. Коми) с запасами 2,4 млн т,

Тарасовское (Ростовская обл.) с запасами 5,1 млн т, а также Черноморское (Краснодарский край) с запасами 5,9 млн т. Из них добычные работы ведутся только на Ижбердинском и Сарайбашском месторождениях. Всего за 2017 г. добыто 125 тыс. т сырья по группе «Глины для буровых растворов».

В группе «Формовочные материалы» числятся еще 6 месторождений глины преимущественно монтмориллонитового состава пригодной для изготовления песчано-глинистых форм, с общими балансовыми запасами 26,2 млн т по категории А+В+С₁ и 26,4 млн т по категории С₂ (Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации: Формовочные материалы, 2018). К ним относятся (категория А+В+С₁): Калиново-Дашковское (Московская обл.), с запасами 1,9 млн т, Никольское и Майдан-Бентонитовое (Воронежская обл.) с общими запасами 1 млн т, Герпегежское (Респ. Кабардино-Балкария) с запасами в 8,1 млн т, Камалинское (Красноярский край) с запасами в 15,2 млн т (табл. 3). Несмотря на то, что Герпегежское и Калиново-Дашковское месторождения относятся к разрабатываемым, в этой

группе реальная добыча в 2017 году велась только на месторождениях Воронежской области (36 тыс. т).

За девятилетний период (Сабитов и др., 2010) прирост запасов составил 45 млн т по категории А+В+С₁ и 50 млн т по категории С₂. За счет увеличения добычи на месторождении 10й Хутор и Майдан-Бентонитовом участке, а также ввода в эксплуатацию Березовского и Сарайбашского месторождений, добыча увеличилась на 150 тыс. т. Добычные работы на Калино-Дашковском и Никольском участке прекратились.

По минеральному составу разрабатываемые на данный момент месторождения состоят на 60-75% из монтмориллонита щелочноземельного типа. Исключением являются месторождения Оренбургской (Ижбердинское, Сарайбашское) и Воронежской (Никольское) областей, со средним содержанием монтмориллонита 50-60 и 42-65% (табл. 4), соответственно.

Для повышения качества сырья, бентонитовые и бентонитоподобные глины из большинства разрабатываемых в России месторождений подвергаются активации кальцинированной содой. За счет высокой

| Месторождение | Географическое положение | Тип, генезис | Возраст | Запасы А+В+С ₁ млн т. | Геотектоническая позиция |
|--|--------------------------|---|----------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| <i>Ведется добыча</i> | | | | | |
| Ижбердинское, Сарайбашское | Оренбургская обл. | Щелочно-земельный, осадочный | К ₂ | 7 | Предуральский краевой прогиб |
| <i>Неразрабатываемые</i> | | | | | |
| Активное, Желтое, Саринское, Соболевское | Оренбургская обл. | Щелочно-земельный, осадочный | Н ₂ | 33,1 | Предуральский краевой прогиб |
| Харанорское | Забайкальский край | Щелочно-земельный, вулканогенно-осадочный | К | 8,4 | Монголо-Охотская складчатая область |
| Черноморское | Краснодарский край | Информация отсутствует | Н ₂ | 5,9 | Предкавказский краевой прогиб |
| Тарасовское | Ростовская обл. | Щелочно-земельный, осадочный | Р ₂ | 5,1 | Воронежская антеклиз |
| Бадьинское | Респ. Коми | Щелочно-земельный, осадочный | С ₁ | 2,4 | Предуральский краевой прогиб |

Табл. 2. Балансовые запасы месторождений по категории «Глины для буровых растворов»

| Месторождение | Географическое положение | Тип, генезис | Возраст | Запасы А+В+С ₁ млн т. | Геотектоническая позиция |
|---------------------------------|--------------------------|---|----------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Ведется добыча</i> | | | | | |
| Никольское, Майдан-Бентонитовое | Воронежская обл. | Щелочно-земельный, осадочный | Р ₁ | 1 | Воронежская антеклиз |
| <i>Неразрабатываемые</i> | | | | | |
| Камалинское | Красноярская обл. | Щелочно-земельный, вулканогенно-осадочное | С ₁ | 15,2 | Алтае-Саянская складчатая область |
| Герпегежское | Респ. Кабардино-Балкария | Щелочной, Щелочно-земельный | Р ₁ | 8,1 | Предкавказский краевой прогиб |
| Калиново-Дашковское | Московская обл. | Щелочно-земельный, осадочный | С ₁ | 1,9 | Московская синеклиз |

Табл. 3. Балансовые запасы месторождений по категории «Формовочные материалы»

| Месторождение | Содержание смектита, % | ЕКО, мгэкв/100гр | |
|--|------------------------|------------------|---------------------|
| | | Адсорбция МГ | Адсорбции Cu(trien) |
| Биклянское, Березовское (Респ. Татарстан)* | 60-70 | 36-38 | - |
| Зырянское (Курганская обл.)** | 60-75 | 27 | 78 |
| 10й Хутор (Респ. Хакасия)** | 60-75 | 37 | 80 |
| Ижбердинское, Сарайбашское (Оренбургская обл.)** | 45-60 | 35-45 | - |
| Никольское*** | 42-65 | 55 | - |

Табл. 4. Усредненный минеральный состав и емкость катионного обмена (ЕКО) разрабатываемых месторождений России. *(Сабитов и др., 2015); **результаты анализа лаборатории ИГЕМ РАН; *** (Горюшкин, 2006).

термостойкости, а также прочностных показателей, основным сырьем для горно-обогатительных комбинатов и литейных предприятий служит бентонит месторождения 10й Хутор. Для этой же цели применяются бентониты Зырянского, Биклянского и Березовского месторождений, однако основное направление их использования связано с вертикальным и горизонтально-направленным бурением, а также гражданским строительством. Для приготовления буровых растворов различного назначения в том числе применяют бентониты Ижбердинского, Сарайбашского месторождений. Никольское и Майдан-Бентонитовое месторождения в основном применяются для изготовления буровых растворов низких марок, в сельском хозяйстве и в незначительном количестве в литейном производстве.

Стоит отметить, что на настоящий момент существует два наиболее распространенных метода анализа емкости катионного обмена – по адсорбции красителя метилена голубого (МГ), входящей в состав ГОСТ 21283-93 (Глина бентонитовая для тонкой и строительной керамики) и по адсорбции комплекса Cu(trien), которая в настоящий момент является принятой методикой в научном сообществе, как наиболее корректная для изучения свойств бентонитов и в особенности щелочноземельных разновидностей (Lorenz et al., 1999). В виду более высокой адсорбционной способности медного комплекса, он легко вытесняет с поверхности глинистых частиц катионы кальция и магния, что обеспечивает возможность получения точной информации о величине КОЕ. В свою очередь, емкость катионного обмена обуславливается не только содержанием смектита, но и особенностями его строения, как было указано выше.

2.3. Страны СНГ

Запасы основных месторождений бентонитовой глины стран СНГ (без учета месторождений РФ) составляют 740 млн т. Чуть больше трети из них (270 млн т) находятся в *Республике Азербайджан* – наиболее важного производителя высококачественного бентонитового сырья в регионе, где расположены Даш-Салахлинское и Аплондское месторождения, а также Хызынская группа месторождений щелочного гидротермального бентонита (Наседкин и др., 2001; Наседкин, Ширинзаде, 2008; Белоусов, 2013).

Следующим важным бентонитоносным регионом является *Республика Армения* с Саригюхским месторождением, залегающим в одной геологической структуре с Даш-Салахлинским месторождением и расположенным на границе с Азербайджаном. Суммарные запасы Саригюхского месторождения составляют 57 млн т. Из них

только 24 млн т поставлены на баланс (British Geological Survey, 2015; United States Geological Survey..., 2017; Наседкин и др., 2001).

Месторождения бентонита *Республики Казахстан* стали относительно новым источником высококачественного сырья, импортируемого в Россию. К ним относятся Таганское, Динозавровое, Келесское и Андреевское месторождения. Бентонит щелочного и щелочно-земельного типа, имеет розовый и красный цвета, иногда гелеобразную структуру. Происхождение бентонитов на данный момент является дискуссионным. Предполагается наличие нескольких процессов бентонитообразования с доминированием гидротермального процесса (Сапаргалиев, Кравченко, 2007). Суммарные запасы составляют 55 млн т. Однако в результате регулярных разведочных работ в Респ. Казахстан, балансовые запасы возрастают с каждым годом (Наседкин и др., 2001; British Geological Survey, 2015; United States Geological Survey..., 2017).

Бентонит *Грузии*, известный как «Аскан-гель» и названный в честь Асканского месторождения по причине гелеобразной структуры бентонитов, в настоящее время не поставляется в Россию в значительных количествах. Суммарные запасы Гумбрийского, Асканского и Кумиставского месторождений составляют 12 млн т (Наседкин и др., 2001; British Geological Survey, 2015; United States Geological Survey..., 2017).

Украина является бывшим членом стран СНГ и была важным поставщиком бентонитовой глины на протяжении второй половины XX и начала XXI века. Сырьевая база Украины состоит из месторождений бентонитовой глины различного качества. Например, Дашуковское (Черкасское) месторождение относится к высококачественным щелочноземельным бентонитовым глинам, ранее поставлявшимся на горно-обогатительные комбинаты России. На Украине находятся пять основных месторождений бентонитовой глины, часть из которых на данный момент не разрабатывается, с суммарными запасами около 50 млн т: Дашуковское (Черкасское), Горбское, Григорьевское, Бережанское, Пыжевское (Наседкин и др., 2001; British Geological Survey, 2015; United States Geological Survey..., 2017).

Завершая список стран СНГ с промышленными месторождениями бентонитовой глины, стоит отметить *Туркменистан* с запасами в 14 млн т (Оглаглинское м-е), *Узбекистан* с запасами в 10 млн т (м-я Азкамар и Новбахор) и *Киргизстан* с запасами в 0,6 млн т (м-е Бешкент) (Наседкин и др., 2001; British Geological Survey, 2015; United States Geological Survey..., 2017).

Вышеперечисленные месторождения относятся к важнейшим промышленным месторождениям бентонита, в то время как реальные запасы этих стран значительно выше.

3. Геологическая позиция

3.1. Генезис

Генетическая классификация бентонитовых глин является дискуссионным вопросом. Например, М. Вилсон (Wilson, 2013) подразделяет бентониты в зависимости от механизма образования: выветривание, педогенез, осадконакопление, диагенез и гидротермальное преобразование материнских пород. Д. Кристидис и В. Хаф (Christidis, Huf, 2009) подразделяют бентониты на диагенетические, гидротермальные и осадочные. Причем, осадочный тип рассматривается как образование осадков, обогащенных смектитом в соленых озерах и солончаках, без процесса разложения вулканического пепла.

Российская генетическая классификация бентонитовых глин имеет свои особенности (Кирсанов, 1972; Наседкин и др., 2001). Месторождения бентонитов подразделяются на следующие типы:

- Осадочный (процессы переотложения глины);
- Гидротермальный (гидротермальное преобразование вулканических и осадочных пород);
- Элювиальный (коры выветривания);
- Вулканогенно-осадочный (девитрификация вулканического пепла в слабощелочных условиях).

При этом, к осадочному типу относятся в большей степени переотложенные глины, с примесью глинистого материала диагенетического генезиса.

Среди основных промышленно важных месторождений бентонитового сырья на территории РФ в большей степени выделяются осадочный и вулканогенно-осадочный генетические типы. Элювиальный тип представлен сериями месторождений щелочноземельного типа среднего качества, не разрабатываемых на данный момент.

3.1.1 Осадочный тип

К этому типу относится большинство месторождений бентонитовых глин России. Процесс образования осадочных бентонитов довольно сложный и включает в себя вымывание и переотложение первичного обломочного и коллоидно-дисперсного материала из зон выветривания континентальных участков и переотложение в бассейны седиментации. Поскольку материнские породы имеют разнообразный состав, новообразованные месторождения бентонита наследуют это разнообразие компонентного состава и особенностей строения минералов. Более того, помимо механического процесса переотложения и перемыва, образование осадочных месторождений может сопровождаться диагенетическими процессами. Также на состав и качество бентонитов оказывают влияние гидрохимические условия бассейна осадконакопления (Кирсанов, 1972).

Для осадочных месторождений обычно характерно простое геологическое строение, однородность, большая мощность слоев и крупные запасы. По условиям образования осадочные месторождения, в свою очередь, подразделяются на три подтипа: морской, лагунный и континентальный. Качество бентонитовой глины зависит как от количества примесей (кварц, полевые шпаты, иллит

и пр.), так и от условий образования. Месторождения морского подтипа имеют более высокое качество по сравнению с континентальными.

Главным вопросом остается причина ухудшения качества глины после переотложения, а также отсутствие щелочных (натриевых) разновидностей. Предполагается, что в процессе транспортировки глинистых минералов водными потоками происходит некоторое преобразование структуры монтмориллонита и состава поглощенного комплекса (Кирсанов, 1972).

В большинстве случаев осадочные бентониты имеют темный цвет – серо-зеленый, коричневый, темно-серый и почти черный. По минеральному составу бентониты состоят, преимущественно, из щелочноземельного (Ca-Mg) монтмориллонита; по химическому составу характеризуются повышенным содержанием оксида алюминия (до 20%), оксида железа (4,5% и более) и зачастую оксида кремния (60-70%), за счет высокого содержания кварца.

Крупные месторождения бентонитовой глины, относящиеся к этому типу, расположены в Респ. Татарстан, Курганской, Омской и Оренбургской областях (табл. 1). К месторождениям щелочноземельного бентонита осадочного генезиса, сырье которых успешно применяется в различных отраслях промышленности, можно отнести Зырянское, Ижбердинское и Сарайбшское месторождения.

3.1.2 Гидротермальный тип

Гидротермальные месторождения бентонита связаны с разломами, трещиноватыми вулканогенными и магматическими породами. Бентонитовые тела секут вмещающие породы, имеют штокообразную, дайкообразную и пластообразную форму и обычно большую мощность. Бентониты образуются за счет гидротермального преобразования вулканогенно-осадочных пород, в частности базальтовых порфиритов и туфов, пеплов. В пористые залежи коренных пород (пеплы, туфы и др.) из недр проникают горячие термальные воды, что приводит к разрушению этих туфов и пеплов с образованием смектитовых глин.

Качество новообразованных бентонитов и содержание минеральных примесей зависит от состава материнских пород и термальных вод, а также от их температуры и щелочности. Благоприятная температура гидротермальных вод для преобразования туфов в монтмориллонит составляет порядка 50-200°C с высокой щелочностью (pH 9-10).

Отличительной чертой месторождений бентонитов гидротермального генезиса является наличие постепенного перехода: бентонит ↔ монтмориллонитизированная порода ↔ материнская порода (Наседкин, Ширинзаде, 2008; Wilson, 2013). Дополнительным диагностическим признаком является наличие поблизости магматических пород (базальты, андезиты и т.п.), а также наличие таких минералов как опал, кристобалит, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, магнезит, пиролюзит и цеолит, иногда реликтов материнских пород. Содержание смектита, обычно щелочного типа, колеблется в пределах 60-80%. Характерно повышенное содержание микроэлементов (F, Sc, Cr, Mn, Cu, Zn, Ga, Rb, Cs, Pb, Th, и пр.), адсорбированных глинистыми минералами из горячих гидротерм или сохранившихся в виде реликтов материнских пород. Зачастую, бентониты данного генетического типа имеют

крутое залегание и простираются вдоль тектонических разломов (Кирсанов, 1972).

Бентониты гидротермального типа образуют месторождения с крупными запасами, имеют серо-зеленоватый, голубоватый, желтоватый или кремовый цвет при естественной влажности и становятся более светлыми в высушенном состоянии.

В России данный тип месторождений не представлен. Основные запасы расположены в странах СНГ, США, Европе, Индии и Иране. Примеры месторождений: Даш-Салахлинское (Азербайджан), Саригюхское (Армения), Асканское (Грузия), м-я острова Милос (Греция) и острова Понцо (Италия), Хаттари (Япония), Гектор (США).

3.1.3. Элювиальный тип (остаточный)

В плане понимания процесса образования элювиальный тип бентонитов довольно сложен, так как связан с корами выветривания и определяется в основном тремя факторами: состав первичных (материнских пород), климат и тектоника. Тектоника региона определяет рельеф, глубину профиля выветривания и возможность образования коры выветривания. Для формирования и устойчивого сохранения монтмориллонита благоприятен гумидный – умеренный и теплый влажный климат. Важную роль играет время, обуславливающее продолжительность процесса выветривания (Кирсанов, 1972).

Элювиальный тип включает в себя месторождения бентонитов, образованных за счет глубокого выветривания и физико-химического изменения интрузивных, эффузивных, метаморфических и осадочных пород. В зависимости от состава материнских пород, послуживших исходным материалом для образования бентонитов, элювиальные месторождения подразделяются на три подтипа: по интрузивным (ультраосновные, богатые соединениями железа и магния), эффузивным (кислым, реже основным) и по осадочным породам (мергели, известковистые глины). Месторождения, образованные по осадочным породам, не имеют промышленного значения по причине небольших размеров и высокой литологической изменчивости.

Форма бентонитовых тел разнообразна – ленто-, пласто-, карманообразная. Мощность толщ обычно измеряется первыми метрами, площадь распространения – десятками квадратных километров. В виде примесей присутствуют: каолинит, иллит, смешанослойные глинистые минералы, хлорит, палыгорскит. Зачастую по соседству расположены месторождения цеолита, никелевых, железных и марганцевых руд. Элювиальный тип в России представлен серией щелочноземельных месторождений бентонита среднего качества, в настоящее время не имеющих особого промышленного интереса (Кирсанов, Сабитов, 1980).

Примеры месторождений: Усть-Маньинское (ХМАО), Воронцовское (Свердловская обл.), Разгонское (Иркутская обл.), Аспидное (Грузия), Верхне-Убаганское (Северный Казахстан), Костюковичское (Белоруссия), м-я Индии, Ирана и Вьетнама.

3.1.4 Вулканогенно-осадочный тип

Для бентонитов вулканогенно-осадочного типа характерно высокое качество и сложное геологическое

строение. Содержание монтмориллонита обычно высокое и составляет 50-80% и более (щелочной и щелочноземельный тип).

Данный тип формируется путем подводного преобразования вулканических пеплов. Качество и чистота образуемых бентонитов определяются составом исходного материала (пеплов) и характером среды водоема, в котором происходило осаждение и преобразование этого материала (Белоусов, Наседкин, 2015).

После извержения вулканов происходит осаждение вулканического пепла в водоемы, и начинается процесс разрушения их кристаллической структуры с образованием гидроксидов кремния и алюминия, гелевидной массы и последующей ее кристаллизацией в монтмориллонит. Вулканические центры (источник пепла) могут находиться на расстоянии в сотни километрах от будущего месторождения бентонита (Wilson, 2013; Белоусов, 2013; Белоусов, Наседкин, 2015).

От типа водоема, где осаждался пепел, зависит состав обменного комплекса смектитов. В пресных водах образуются щелочно-земельный тип бентонитов (преобладает Ca и Mg), а в морских водах, обогащенных солями натрия, образуются щелочные бентониты с преобладанием катионов натрия в межслоевом пространстве.

Вулканогенно-осадочные бентониты зачастую отличаются светлой окраской. Одним из явных диагностических признаков является присутствие реликтов пористого вулканического стекла (рис. 2), которое не успело трансформироваться в монтмориллонит и опал-кristобалитовую фазу. Химический состав характеризуется повышенным содержанием SiO_2 (в среднем 65%) при содержании Al_2O_3 12-17% и повышенным содержанием микроэлементов (Sr, V, Rb, Sr, Zr, Ba и др.). Бентониты данного типа зачастую переслаиваются с песчаниками, туфопесчаниками, известняками, а также каменными или бурными углями. Пласты однородные, выдержанные, линзообразной, либо платообразной формы с мощностью до 10 м.

В России данный генетический тип представлен группой месторождений Республики Хакасия (м-я 10й Хутор, Каракукское, Изыхское и пр.) и острова Сахалин (Тихменевское, Вахрушевское, Макаровское). По геотектоническому положению и составу пород можно предположить, что к данному типу также относится Герпегежское и Нальчинское (Респ. Кабардино-Балкария) месторождения (Мачабели, 1980), а также Ургальское (Хабаровский край) и Камалинское (Красноярский край) месторождения. Одно из наиболее известных в мире месторождений бентонитов Вайоминг (США) также относится к этому типу.

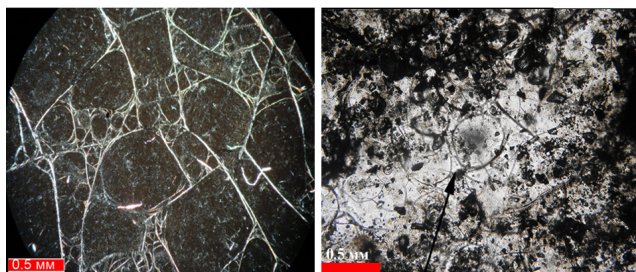


Рис. 2. Девитрификация кислого вулканического стекла (Тихменевское месторождение, Сахалинская обл.)

3.2. Тектоническая и стратиграфическая позиция

В структурном плане Российские месторождения бентонитовых глин можно разделить на три группы:

1. Месторождения, приуроченные к плитам и платформам: Западно-Сибирская плита, Восточно-Европейская платформа;

2. Месторождения, приуроченные к складчатым областям: Алтае-Саянская складчатая область, Сихотэ-Алинская складчатая область, Монголо-Охотская складчатая область, Центрально-Сахалинская впадина, Горно-Крымское складчато-надвиговое сооружение;

3. Месторождения, приуроченные к предгорным прогибам: Предуральский краевой прогиб, Предкавказский краевой прогиб.

Рассматривая стратиграфическую приуроченность, стоит отметить, что преимущественно все Российские месторождения бентонитов относятся к нижнекаменноугольному отделу, палеогеновой или неогеновой системам (табл. 1) и в меньшей степени к меловой.

Месторождения *осадочного* типа связаны с древними плитами, платформами, а также предгорными прогибами в эпоху стабилизации тектонических движений.

Вулканогенно-осадочные месторождения связаны со складчатыми поясами и предгорными прогибами (окайно-континентальные орогены и прилегающие к ним краевые части платформ на морском шельфе и озерах вулканических областей) в период активного вулканизма. Обычно месторождения вулканогенно-осадочного типа относятся к неоген-палеогеновому возрасту, реже меловому и каменноугольному. **Элювиальные** месторождения формировались в условиях развития платформ в окраинных частях кратонов и окайно-континентальных орогенов, в период стабилизации тектонических движений (Дистанов и др., 2000) и имеют незначительное распространение на территории России. Месторождения *гидротермального* типа приурочены к окайно-континентальным орогенам с зонами глубоких разломов, на краях континентальных блоков в эпоху активизации гидротермальных процессов в зонах активного вулканизма.

4. Образование вулканогенно-осадочных бентонитовых провинций

Как было отмечено выше, в России основная часть месторождений бентонита относятся к осадочному и вулканогенно-осадочному типам. В работах Сабитова (2010), выделялось 8 бентонитовых провинций, включающих в себя оба генетических типа. В данной статье будут рассмотрены особенности строения и формирования только вулканогенно-осадочных бентонитовых провинций, как наиболее перспективных источников высококачественного сырья.

Вулканогенно-осадочные бентонитовые провинции представляют собой серию близких по возрасту и генезису бентонитовых месторождений, залегающих в одной геологической структуре и, как правило, приуроченных к зонам развития угольных бассейнов (Мачабели, 1980; Белоусов, 2016; Белоусов и др., 2017). Связь между бентонитовыми глинами и угленосными отложениями определяется тем, что условия осадконакопления углей являются благоприятными для формирования бентонитов по вулканическому материалу: прибрежные мелководные

бассейны, заливы, озера или болота со стоячей пресной или соленой водой.

Наиболее крупные и хорошо изученные вулканогенно-осадочные бентонитовые провинции России расположены в Республике Хакасия и в Сахалинской области.

Месторождения **Республики Хакасии** локализованы в пределах развития образований континентальной туфопесчано-глинистой угленосной формации каменноугольного возраста и расположены в пределах Черногорского и Изыхского каменноугольных районов Минусинского бассейна, приуроченных к Алтае-Саянской складчатой области (рис. 3). Данная бентонитовая провинция включает в себя следующие месторождения и участки: 10-й Хутор, Каратигейское, Солнечное, Карасукское, Изыхское, Подсиненьское. На данный момент в регионе идут активные работы по расширению сырьевой базы, что, по-видимому, в ближайшие годы приведет к разработке новых месторождений. Вулканогенно-осадочная формация сложена туфами, туффитами, конгломератами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами, известняками, углистыми породами с пластами, а также прослоями углей и бентонитов.

Наиболее качественным и хорошо изученным месторождением бентонитового сырья является месторождение **10й Хутор**, расположенное в 8 км юго-западнее города Черногорска Усть-Абаканского района. Большая его часть отработана, а оставшиеся запасы составляют 3 млн т (Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации, 2018). В составе отложений по литологическому составу выделяется пять пачек: подстилающая, нижняя продуктивная, межпродуктивная, верхняя продуктивная и перекрывающая. Залегание пород в пределах месторождения моноклинальное с северо-восточным простиранием и падением на юго-восток под углом 6-8 град. По падению пласты прослежены на 100-125 м и глубину до 25 м. Тектонических нарушений в пределах месторождения не установлено. Четвертичные отложения имеют незначительную (до 1 м) мощность и представлены суглинками, супесями и песками. По минеральному составу бентониты месторождения 10й Хутор состоят, в среднем, на 60-75% из щелочноземельного монтмориллонита и характеризуются высокими сорбционными и термостойкими свойствами. В виде примесей присутствуют кварц, микроклин, альбит, кальцит и обломки угля. В зависимости от пласта, в незначительном количестве (менее 1 %) могут присутствовать гипс и пирит (Крупская и др., 2016; Белоусов и др., 2017; Крупская и др., 2018).

Стоит отметить, что вся Южно-Минусинская впадина является перспективной на поиски месторождений бентонитовых глин. Угленосная формация, выполняющая мульду, является бентонитовосодержащей и насчитывает целую серию из более мелких месторождений и рудопроявлений бентонитовых глин (Белоусов и др., 2017).

Другим важным регионом является **Сахалинская область**, в пределах которой бентонитовосодержащая генетически и пространственно связана с миоценовыми туфосадочными угленосными отложениями верхнедуйской и нижнедуйской свит миоцена, развитыми в южной части острова. На восточном побережье они известны в районе г. Макарова, пос. Тихменево, Вахрушево и Взморье; на западном побережье – в районе гг. Углегорска,

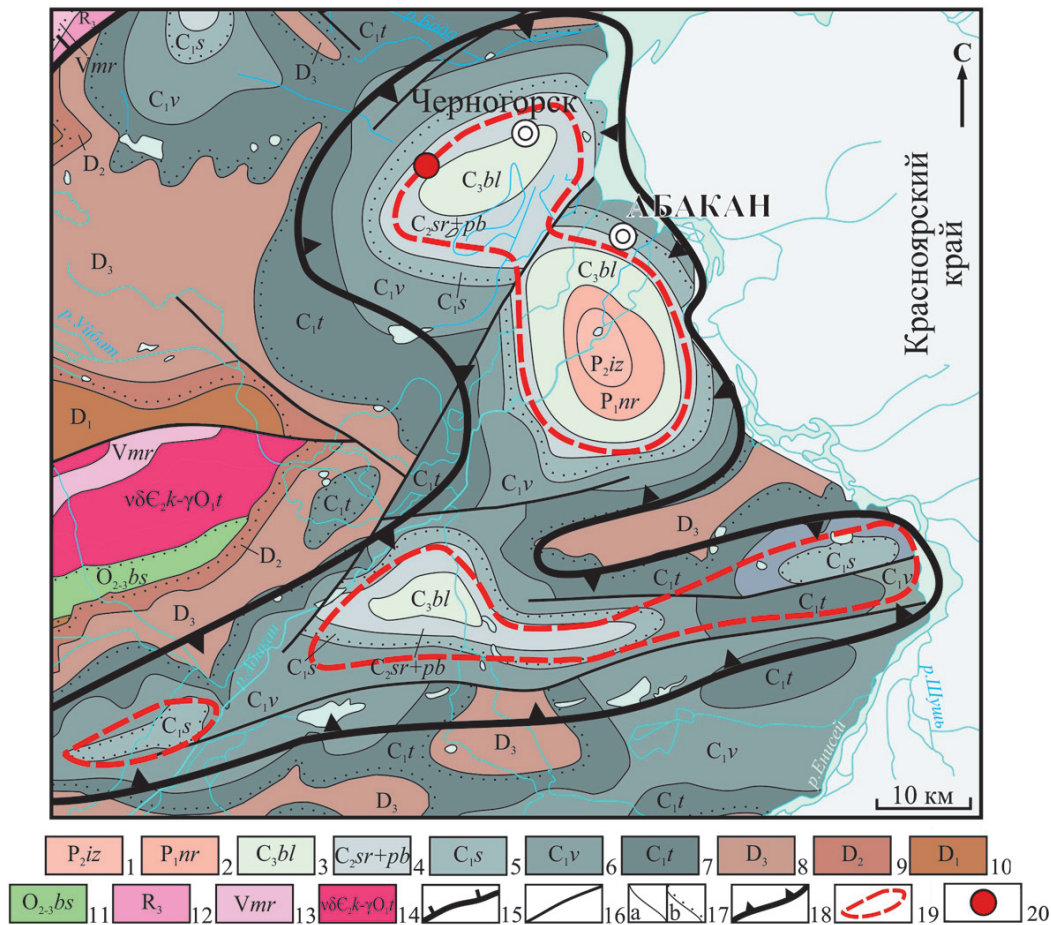


Рис. 3. Геологическая карта Черногорского бассейна (Струнин, Глухов, 2002, с дополнениями и редакцией). Условные обозначения: 1-3 – палеогеновая система, палеоцен-эоцен, алевролиты, аргиллиты, песчаники, каменный уголь: 1 – иыхская свита; 2 – нарылковская свита; 4-7 – каменноугольная система, нижний-верхний отделы (3 – Белоярская свита, песчаники, алевролиты, аргиллиты, каменный уголь, 4 – сарская, черногорская, побережная свиты, алевролиты, песчаники, аргиллиты, известняки, бентонитовые глины, каменный уголь, 5 – серпуховский ярус, песчаники, конгломераты, алевролиты, каменный уголь, 6 – визейский ярус, песчаники, конгломераты, алевролиты, каменный уголь, 7 – турнейский ярус, туфопесчаники, известняки, конгломераты); 8-10 – девонская система (8 – верхний отдел, аргиллиты, песчаники, мергели, 9 – средний отдел, песчаники, известняки, алевролиты, мергели, 10 – нижний отдел, песчаники, алевролиты, гравелиты, базальты); 11 – ордовик, средний-верхний отделы (большеярская свита, туфы, трахиандезиты, трахибазальты); 12 – рифей, верхний отдел (известняки, доломиты, силициты); 13 – венд (мартюхинская свита, известняки, доломиты, силициты); 14 – среднекембрийские-позднеордовикские интрузии (граниты, гранодиориты, сиениты, габброидориты, габбро, моноциты); 15 – надвиги; 16 – разломы; 17 – геологические границы (a – достоверные; b – фациально разные); 18 – границы южно-минусинского каменноугольного бассейна; 19 – бентонитоносные и потенциально перспективные участки; 20 – месторождение 10й Хутор.

Горнозаводска и на Тонино-Анивском полуострове. Суммарные прогнозные ресурсы региона оцениваются в 37 млн т (Меренков, 2002). Наибольший интерес представляют Тихменевский, Вахрушевский и Макаровский участки, расположенные в Поронайском районе вдоль восточного побережья острова. Прогнозные ресурсы по категории P₁ – 2,6 млн т и P₂ – 2 млн т (Сабитов и др., 2007). Геологическое строение и минеральный состав будут рассмотрены на примере Тихменевского месторождения, как наиболее изученного в данном регионе.

Тихменевское месторождение бентонитовых глин находится в 1,5 км к западу от пос. Тихменево в Поронайском районе. В его северной части расположен угольный разрез Западный. На участке среди туфо-осадочных угленосных отложений верхнедудуйской свиты (рис. 4) выявлено шесть пластов бентонита субмеридионального простирания с падением в восточном направлении под углами от 30 до 80°. Пласты приурочены как к кровле, так и к подошве угольных пластов. Мощность пластов колеблется от 0,5 до

10 м. Протяженность пластов достигает 1,5 км (Сабитов и др., 2007; Белоусов, Наседкин, 2015).

По минеральному составу глины состоят на 60-95% из Na- и Ca-Mg-монтмориллонита. В виде примесей присутствуют кварц, кристобалит, полевые шпаты, аморфный кремнезем, фрагменты угля и вулканического стекла. Запасы бентонитов в районе пос. Тихменево составляют по категории C₂ 862 тыс. т и прогнозные ресурсы (P_{1,2}) – 3,4 млн т (Сабитов и др., 2007).

4. Заключение

Изучив минерально-сырьевую базу месторождений бентонитовой глины России и стран СНГ, их геолого-тектоническую позицию и особенности образования, можно сделать следующие выводы.

Ориентировочные запасы бентонитовой глины России составляют 189 млн т по категории A+B+C₁ и 146 млн т по категории C₂. Наиболее важными месторождениями, разрабатываемыми на данный момент, являются

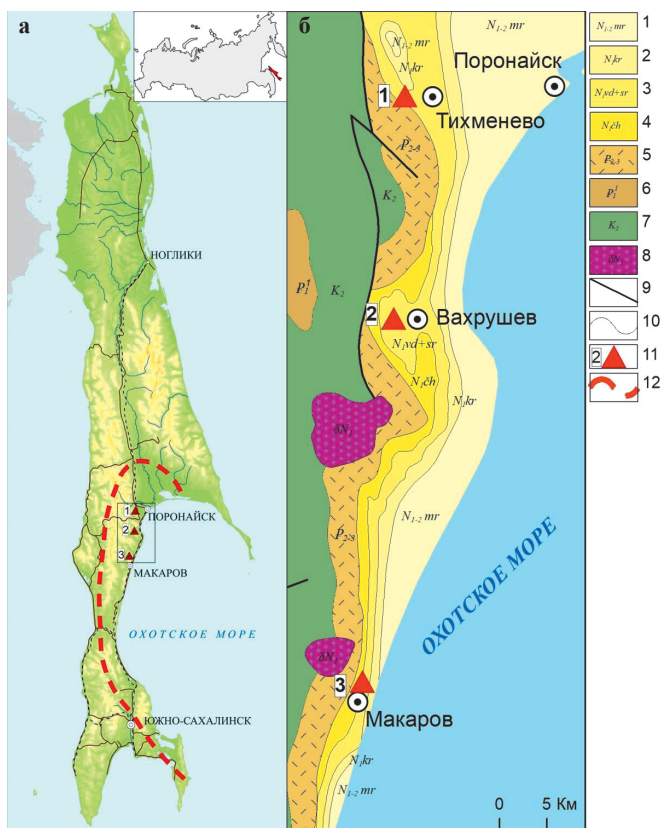


Рис. 4. Бентонитовость острова Сахалин: а – расположение перспективных участков (Сабитов, 2007); б – геологическая схема строения юго-западной части острова (Стрельников, 2016, с дополнениями и редакцией). Условные обозначения: 1-4 – средний-нижний миоцен (1 – маруямская свита, пески, песчаники, алевролиты, рыхлые глины, бурые угли, 2 – курасийская свита, алевролиты кремнистые, диатомиты, песчаники, туффиты, конкреции мергелей, 3 – верхнедуйская и сертунная свиты, рудоносная, песчано-глинистая угленосная формация, 4 – чеховский осадочно-вулканогенный комплекс, туфоалевролиты, туфы, лавы базальтов, андезибазальтов); 5-6 – палеогеновая система (5 – колчанская и сизиманская свиты, трахириолиты, трахиты, риодациты и андезиты и их туфы, андезибазальты, базальты, трахибазальты, 6 – синегорская свита, алевролиты, аргиллиты, песчаники, карбонатные конкреции); 7 – нижнемеловая система (алевролиты, аргиллиты, песчаники, туфы); 8 – ранний неоген, чеховский комплекс (диориты, гранодиориты, кварцевые диориты, диорит-порфиры); 9 – разломы; 10 – геологические границы; 11 – перспективные участки (1 – Тихменевский, 2 – Вахрушевский, 3 – Макаровский); 12 – ареол развития бентонитовых отложений в пределах о. Сахалин.

(категория A+B+C₁): 10й Хутор в Респ. Хакасия с запасами в 3 млн т, Биклянское и Березовское в Респ. Татарстан с общими запасами в 37,8 млн т, Зырянское в Курганской обл. с запасами в 14 млн т, Ижбердинское и Сарайбашское в Оренбургской области с общими запасами в 7 млн т, Никольское и Майдан-Бентонитовое в Воронежской обл. с общими запасами в 1 млн т. Подготовлены к освоению месторождения Хеу (Респ. Кабардино-Балкария), а также Солнечное и Каратигейское (Респ. Хакасия) с общими запасами категорий A+B+C₁ – 4,7 млн т, C₂ – 795 тыс. т.

Объем производства в России в 2017 году составил более 735 тыс. т бентонитовой продукции, что на 150 тыс. т больше по сравнению с 2008 годом. В ближайшие годы добыча бентонитовой глины может быть

увеличена за счет ввода в эксплуатацию месторождений Респ. Кабардино-Балкария (Хеу) и Хакасии (Солнечное и Каратигейское).

Запасы основных бентонитовых месторождений, расположенных в странах СНГ (не считая Россию), составляют 740 млн т сырья. Около трети из них приходится на Респ. Азербайджан с Даш-Салахлинским и Аплоидским месторождениями, а также Хызынской группой месторождений щелочного гидротермального бентонита высокого качества. Важным поставщиком бентонитовой глины в Россию также являются Респ. Армения и Казахстан.

В плане генетической классификации, в России представлены только осадочные и вулканогенно-осадочные бентониты, и в незначительной степени элювиальные. К **осадочному** типу относится большинство месторождений бентонитов на территории Российской Федерации (Биклянское, Березовское, Зырянское, Ижбердинское, Сарайбашское, Никольское, Майдан-Бентонитовое и др.). Для бентонитов **вулканогенно-осадочного** типа характерно высокое качество сырья и сложное геологическое строение месторождений. К ним относятся месторождение 10й Хутор в Респ. Хакасия, группа месторождений острова Сахалин (табл. 1) и месторождения Крыма.

Зачастую, месторождения вулканогенно-осадочного генезиса пространственно и генетически связаны с угольными бассейнами и образуют бентонитовые провинции. Связь между бентонитовыми глинами и угленосными отложениями объясняется тем, что условия осадконакопления ископаемых углей являются благоприятными для формирования бентонитовых залежей. Наличие кислого вулканизма в регионе и широкое развитие угольных бассейнов являются потенциально благоприятными условиями для формирования вулканогенно-осадочных бентонитовых провинций. В России примерами таких провинций являются Республика Хакасия и остров Сахалин.

Основываясь на геолого-тектонической позиции и особенностях минерального состава можно предположить, что месторождения бентонитов Респ. Кабардино-Балкарии, Хабаровского, Приморского и Красноярского края также относятся к вулканогенно-осадочным бентонитовым провинциям. Данные регионы являются потенциально перспективными на поиски месторождений и могут послужить источником для расширения минерально-сырьевой базы высококачественных щелочных бентонитов России.

Благодарности/Финансирование

Авторы выражают благодарность сотрудникам ФГБУ «ВИМС», в лице Чупаленкова Н.М, а также сотрудникам ИГЕМ РАН, Кайлочакову П.Э. и Выхристенко Р.И. за оказанную помощь при подготовке статьи. Отдельную признательность авторы выражают рецензентам за ценные советы и замечания, которые позволили улучшить данную публикацию.

Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, проект 18-29-12115 (проведенные работы по обзору минерально-сырьевой базы РФ и изучению м-я 10й Хутор), а также в рамках базовой темы ИГЕМ РАН № 0136-2018-0022 (работы по изучению месторождений Дальнего Востока и в частности о. Сахалин).

Литература

- Белуосов П.Е. (2013). Сравнительная характеристика месторождений высококачественных бентонитов России и некоторых зарубежных стран. *Вестник Российского Университета Дружбы Народов. Серия: инженерные исследования*, 2, с. 55-61.
- Белуосов П.Е. (2016). Бентонитоносные провинции России приуроченные к угольным бассейнам. *VI Росс. молодёж. научно-практ. Школа «Новое в познании процессов рудообразования»*, ИГЕМ РАН, с. 59-62.
- Белуосов П.Е., Наседкин В.В. (2015). Генезис и особенности условий образования бентонитов Тихменевского месторождения (о. Сахалин). *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*, с. 45-51.
- Белуосов П.Е., Крупская В.В., Закусин С.В., Жигарев В.В. (2017). Бентонитовые глины месторождения 10-й Хутор (республика Хакасия): особенности генезиса, состава и адсорбционных свойств. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*, 18(1), с. 135-143. <https://doi.org/10.22363/2312-8143-2017-18-1-135-143>
- Горюшкин В.В., Савко А.Д. (2006). Бентонитовые глины юго-востока Центрально-Черноземного района. *Тр. НИИ геологии Воронеж. ун-та*, 37, с. 176.
- Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации: Глины Бентонитовые (2018). Вып. 45.
- Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации: Глины для буровых растворов (2018). Вып. 46.
- Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации: Формовочные материалы (2018). Вып. 68.
- Дистанов У.Г., Аксенов Е.М., Сабитов А.А. и др. (2000). Фанерозойские осадочные палеобассейны России: проблемы эволюции и минералогия неметаллов. М.: Геоинформатика, с. 83-96.
- Дриц В.А., Кросовская А.Г. (1990). Глинистые минералы: смектиты, смешанослойные образования. М.: Наука, 176 с.
- Крупская В.В., Закусин С.В., Тюпина Е.А., Чернов М.С. (2016). Особенности сорбции Cs в бентонитовых барьерных системах при захоронении твердых радиоактивных отходов. *Горный журнал*, 2, с. 81-87.
- Крупская В. В., Бирюков Д. В., Белуосов П. Е., Лехов В. А., Романчук А. Ю., Калмыков С. Н. (2018). Применение природных глинистых материалов для повышения уровня ядерной и радиационной безопасности объектов ядерного наследия. *Радиоактивные отходы*, 2(3), с. 30-43.
- Кирсанов Н.В. (1972). Генетическая классификация и закономерности размещения бентонитовых глин. *Из кн.: Сырьевая база бентонитов СССР и их использование в народном хозяйстве*. М.: Недра, с. 39-55.
- Кирсанов Н.В., Сабитов А.А. (1980). Генетическая и промышленная классификация месторождений бентонитов СССР. *Из кн.: Бентониты*. Москва: Наука, с. 17-23.
- Мачабели Г.А. (1980). О некоторых закономерностях образования бентонитообразования на примере месторождений Грузии и других районов СССР. *Из кн.: Бентониты*. Москва: Наука, с. 24-37.
- Меренков А.М. (2002). Полезные ископаемые Сахалинской области. Южно-Сахалинск: Сахалинское книжное издательство.
- Наседкин В.В., Кваша Ф.С., Стаханов В.В. (2001). Бентониты в промышленности России. М.: ГЕОС, 236 с.
- Наседкин В.В., Ширинзаде Н.А. (2008). Даш-Салахлинское месторождение бентонита. Становление и перспективы развития. *Геос*, 85 с.
- Осипов В.И., Соколов В.Н. (2013). Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств. М.: ГЕОС, 536 с.
- Сабитов А.А., Беляев Е.В. (2018). Минерально-сырьевая база бентонитового сырья республики Крым. *Разведка и охрана недр*, 3, с. 19-26.
- Сабитов А.А., Руселик Е.С., Трофимова Ф.А., Тетерин А.Н. (2010). Бентониты России: состояние освоения и перспективы развития сырьевой базы. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*, 5, с. 8-17.
- Сабитов А.А. (2015). Месторождения бентонитов Республики Татарстан: геология и генезис, направления использования сырья. *Георесурсы*, 4(63), т.1, с. 38-43.
- Сабитов А.А., Конохова Т.П., Трофимова Ф.А., Зайнуллин И.И., Евсеев В.Ф., Лапшин А.Г., Речкин А.Н. (2007). Бентониты Сахалина. *Разведка и охрана недр*. М.: ВИМС, 2007, с. 16-21.
- Сапаргалиев Е.М., Кравченко М.М. (2007). Особенности генезиса Таганского месторождения бентонитов в Зайсанской впадине. *Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования»*, 3, с. 40-46.
- Стрельников С.И. (2016). Геологическая карта Сахалинской области. ГИС-Атлас ВСЕГЕИ.
- Струнин Б.М., Глухов Ю.С. (2002). Геологическая карта Республики Хакасия. ГИС-Атлас ВСЕГЕИ.
- British Geological Survey (2015). URL: <https://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/wms.cfc?method=searchWMS>
- Christidis G. E. and Huf W.D. (2009). Geological Aspects and Genesis of Bentonites. *Elements*, 5, pp. 93-98. <https://doi.org/10.2113/gselements.5.2.93>
- Industrial Minerals (2012). <https://www.indmin.com>
- Lorenz P., Meier L. and Kahr G. (1999). Determination of the cation exchange capacity (CEC) of clays minerals using the complexes of copper (II) ion with triethylenetetramine and tetraethylenepentamine. *Clays and Clay Minerals*, 47(3), pp. 386-388. <https://doi.org/10.1346/CCMN.1999.0470315>
- United States Geological Survey. Mineral YearBook. Clay and shale (2017). <https://www.usgs.gov/centers/nmic/clays-statistics-and-information>
- Wilson M.J. (2013). Rock-forming minerals, Vol. 3C, Sheet silicates: clay minerals. The Geological Society, London, 736 p.

Сведения об авторах

Петр Евгеньевич Белуосов – канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН

Россия, 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 35
E-mail: pitbl@mail.ru, тел: +7(926)187-39-47

Виктория Валерьевна Крупская – канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН

Россия, 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 35
E-mail: krupskaya@ruclay.com, тел: +7(499)230-82-96

Статья поступила в редакцию 24.08.2018;

Принята к публикации 27.06.2019;

Опубликована 01.09.2019

IN ENGLISH

Bentonite clays of Russia and neighboring countries

P.E. Belousov¹, V.V. Krupskaya^{1,2}*

¹Institute of Ore Geology, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Science, Moscow, Russian Federation

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

*Corresponding author: Victoria V. Krupskaya, e-mail: krupskaya@ruclay.com

Abstract. Bentonite clay is an important natural material, widely used in many industries. The purpose of this article is to analyze the mineral resource base of bentonite clays in Russia. The data on reserves of deposits, the degree of their development and production volumes are given. The composition and uses of the main developed deposits of bentonite clay in Russia are characterized. A comparative analysis of the reserves and production growth of bentonite

over the past decade is carried out. A brief description of the world situation is given, and the mineral resource base of the CIS countries is considered. Since the quality of raw materials, its properties and reserves directly depend on the conditions of origin, a characteristic of the geological and tectonic position and genesis of the bentonite clay deposits of Russia is given. Bentonite-bearing provinces with favorable conditions for the formation of bentonite deposits with

volcanogenic-sedimentary genesis are considered. The most promising regions are proposed for the purposes of expanding the mineral resource base of bentonite materials. This work is the result of the authors' own geological works at various deposits of bentonite clays in Russia, the near and far abroad, as well as the study and interpretation of published materials on this subject over the past decades.

Keywords: bentonite, montmorillonite, clays, bentonite provinces, genesis of bentonite, industrial minerals, the 10th Khutor deposit, the Tikhmenevskoe deposit, coal basins, Far East

Acknowledgments/Funding

The authors are grateful to the staff of Fedorovsky All-Russian Scientific-research Institute of Mineral Resources (FSBI VIMS), represented by Chupalenkov N.M., as well as to the staff of the Institute of Ore Geology, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Science, Kaylochakov P.E. and Vykhristenko R.I. for their help in preparing the article. The authors are especially grateful to the reviewers for the valuable recommendations and comments which have been very helpful in improving the manuscript.

The article was performed with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research, project 18-29-12115 (works carried out on the review of the mineral resource base of the Russian Federation and the study of the 10th Khutor field), as well as in the framework of the Institute of Ore Geology, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Science basic theme No. 0136-2018-0022 (works on fields of the Far East and in particular Sakhalin Island).

Recommended citation: Belousov P.E., Krupskaya V.V. (2019). Bentonite clays of Russia and neighboring countries. *Georesursy = Georesources*, 21(3), pp. 79-90. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.3.79-90>

References

- Belousov P.E. (2013). Comparative characteristic of high-quality bentonite deposits of Russia and some foreign countries. *Vestnik Rossiyskogo Universiteta Druzhy Narodov. Seriya: inzhenernyye issledovaniya = RUDN Journal of Engineering Researches*, 2, pp. 55-61. (In Russ.)
- Belousov P.E. (2016). Bentonite-bearing provinces of Russia confined to coal basins. *VI Ros. molodëzh. nauch.-prakt. shkola «Novoe v poznanii protsessov rudoobrazovaniya»* [Proc. VI Russ. Youth Sci.-Pract. School «New in the knowledge of ore formation processes»]. IGEM RAN, pp. 59-62. (In Russ.)
- Belousov P.E., Bochamnikova YU.I. (2015). Bentonite clay base of Russia. *Mat. III Ros. sov. po glinam i glinistym mineralam «Gliny-2015»* [Proc. III Russ. Meeting on Clays and Clay Minerals «Clay 2015»]. Moscow: IGEM RAN. (In Russ.)
- Belousov P.E., Krupskaya V.V., Zakusin S.V., Zhigarev V.V. (2017). Bentonite clays from 10th Khutor deposit: features of genesis, composition and adsorption properties. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya = RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(1), pp. 135-143. (In Russ.) <https://doi.org/10.22363/2312-8143-2017-18-1-135-143>
- Belousov P.E., Nasedkin V.V. (2015). Genesis and formation features of Tikhmenevskoe deposit of bentonite (Sakhalin Island). *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya = RUDN Journal of Engineering Researches*, pp. 45-51. (In Russ.)
- British Geological Survey (2015). <https://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/wms.cfc?method=searchWMS>
- Christidis G. E. and Huf W.D. (2009). Geological Aspects and Genesis of Bentonites. *Elements*, 5, pp. 93-98. <https://doi.org/10.2113/gselements.5.2.93>
- Distanov U.G., Aksenov E.M., Sabitov A.A. et al. (2000). Fanerozoyskiye osadochnyye paleobasseyny Rossii: problemy evolyutsii i minerageniya nemetallov [Phanerozoic sedimentary paleobasins of Russia: problems of evolution and mineralogy of nonmetals]. Moscow: Geoinformatika Publ., pp. 83-96. (In Russ.)
- Goryushkin V.V., Savko A.D. (2006). Bentonite clays of the southeast of the Central-Chernozem region. *Tr. Nil geologii Voronezh. un-ta*, 37, p. 176. (In Russ.)
- Kirsanov N.V. (1972). Genetic classification and patterns of localization of bentonite clay deposits. *Iz kn.: Syr' yevaya baza bentonitov SSSR i ikh ispol'zovaniye v narodnom khozyaystve* [In book: The USSR raw material base of bentonites and their use in the national economy]. Moscow: Nedra Publ., pp. 39-55. (In Russ.)
- Kirsanov N.V., Sabitov A.A. (1980). Genetic and industrial classification of USSR bentonite deposits. *Iz kn.: Bentonity* [In book: Bentonites]. Moscow: Nauka Publ., p. 17-23. (In Russ.)
- Krupskaya V.V., Biryukov D.V., Belousov P.E., Lekhov V.A., Romanchuk A.Yu., Kalmykov S.N. (2018). The use of natural clay materials to increase the nuclear and radiation safety level of nuclear legacy facilities. *Radioactive Waste*, 2(3), pp. 30-43.
- Krupskaya V.V., Zakusin S.V., Tyupina E.A., Chernov M.S. (2016). Features of Sorption of Cs in Bentonite Barrier Systems in the Burial of Solid Radioactive Waste. *Gornyy zhurnal*, 2, pp. 81-87. (In Russ.)
- Lorenz P., Meier L. and Kahr G. (1999). Determination of the cation exchange capacity (CEC) of clays minerals using the complexes of copper (II) ion with triethylenetetramine and tetraethylenepentamine. *Clays and Clay Minerals*, 47(3), pp. 386-388. <https://doi.org/10.1346/CCMN.1999.0470315>
- Machabeli G.A. About some patterns of bentonite formation on the example of deposits of Georgia and other regions of the USSR. *Iz kn.: Bentonity* [In book: Bentonites]. Moscow: Nauka Publ., pp. 24-37. (In Russ.)
- Merenkov A.M. (2002). Poleznye iskopayemye Sakhalinskoy oblasti [Mineral resources of the Sakhalin Region]. Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalin Book Publ. (In Russ.)
- Nasedkin V.V., Kvasha F.S., Stakhanov V.V. (2001). Bentonity v promyshlennosti Rossii [Bentonites in Russian Industry]. Moscow: GEOS Publ., 236 p. (In Russ.)
- Nasedkin V.V., Shirinzade N.A. (2008). Dash-Salakhinskoye mestorozhdeniye bentonita. Stanovleniye i perspektivy razvitiya [Dash-Salakhinskoye bentonite deposit. Formation and development potential]. Moscow: Geos, 85 p. (In Russ.)
- Osipov V.I., Sokolov V.N. (2013). Gliny i ikh svoystva. Sostav, stroeniye i formirovaniye svoystv [Clays and their properties]. Moscow: GEOS, 536 p. (In Russ.)
- Sabitov A.A., Belyaev E.V. (2018). Mineral base of bentonite clay of the Republic of Crimea. *Razvedka i okhrana nedr = Prospect and protection of mineral resources*, 3, pp. 19-26. (In Russ.)
- Sabitov A.A., Konyukhova T.P., Trofimova F.A., Zaynullin I.I., Evseyev V.F., Lapshin A.G., Rechkin A.N. (2007). Bentonites of Sakhalin. *Razvedka i okhrana nedr = Prospect and protection of mineral resources*, pp. 16-21. (In Russ.)
- Sabitov A.A., Ruselik E.S., Trofimova F.A., Teterin A.N. (2010). Russian bentonite: the current state and resource base development potential. *Mineralnyye resursy Rossii. Ekonomika i upravleniye = Mineral resources of Russia. Economics and Management*, 5, pp. 8-17. (In Russ.)
- Sapargaliev E.M., Kravchenko M.M. (2007). Features of the Tagansky bentonite deposit genesis in the Zaysansky depression]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya = RUDN Journal of Engineering Researches*, 3, pp. 40-46. (In Russ.)
- State balance of mineral reserves of the Russian Federation: Bentonite Clays (2018). Vol. 45
- State balance of mineral reserves of the Russian Federation: Clays for drilling mud (2018). Vol. 46
- State balance of mineral reserves of the Russian Federation: Molding materials (2018). Vol. 68
- United States Geological Survey. Mineral YearBook. Clay and shale (2017). <https://www.usgs.gov/centers/nmic/clays-statistics-and-information>
- Wilson M.J. (2013). Rock-forming minerals, Vol. 3C, Sheet silicates: clay minerals. The Geological Society, London, 736 p.

About the Authors

Peter E. Belousov – PhD (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, Institute of Ore Geology, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Science
35 Staromonetny Lane, Moscow, 119017, Russian Federation
E-mail: pitbl@mail.ru, tel: +7(926)187-39-47

Victoria V. Krupskaya – PhD (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, Institute of Ore Geology, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Science
35 Staromonetny Lane, Moscow, 119017, Russian Federation
E-mail: krupskaya@ruclay.com, tel: +7(499)230-82-96

Manuscript received 24 August 2018;

Accepted 27 June 2019; Published 1 September 2019