

**Вклад вулканизма в формирование геохимической специализации углей юго-восточной части Иркутского угольного бассейна по данным изучения тонштейнов**  
**Соктоев Б.Р.**

**Contribution of volcanism to the formation of geochemical specialization of coals based on the data of tonsteins study (case of the southeastern part of the Irkutsk coal basin)**

**Soktoev B.R.**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск;  
e-mail: bulatsoktoev@tpu.ru

Изучен элементный и минеральный состав тонштейнов в составе угленосных толщ месторождений юго-восточной части Иркутского угольного бассейна. Установлено, что угли на контакте с тонштейнами обогащены редкими элементами. Формирование геохимической специализации обусловлено влиянием вулканогенного пеплового материала.

**Введение**

Угольные месторождения могут представлять интерес не только как источник топливно-энергетических ресурсов, но и как перспективный источник редких и стратегических металлов для различных отраслей промышленности [1, 3, 7]. Угольные бассейны и месторождения различного возраста по всему миру характеризуются весьма неоднородным составом по уровням накопления элементов-примесей и характеру их распределения. Геохимическая специализация углей и угленосных пород формируется под влиянием ряда контролирующих факторов, ведущими из которых являются фактор петрофонда области питания, геотектонический фактор, фактор угольного метаморфизма, эпигенетические факторы (гидротермальные процессы, гипергенное окисление углей), фактор субсинхронного вулканизма [1, 7].

Процессы аккумуляции химических элементов в процессе торфо- и углеобразования могут быть разделены на син-, диа- и эпигенетические [3]. Одним из сингенетических факторов формирования геохимической специализации углей является субсинхронный торфонакоплению вулканизм, влияние которого устанавливается по данным изучения туфогенных прослоев в угольных пластах. Влияние вулканогенного материала на геохимические особенности углей оценивается по результатам изучения измененного вулканического пепла (*altered volcanic ash*), представленного преимущественно в виде тонштейнов, реже бентонитов, К-бентонитов, безглинистых пластов и пропластков [6, 8, 9]. Во многих угольных бассейнах мира разного возраста – от каменноугольного до неогенового – выявлены тонштейны как наиболее распространенный индикатор вулканогенного материала [8, 9], способствующий обогащению прилегающих угольных пластов промышленными содержаниями ценных элементов-примесей и аномальных концентраций потенциально токсичных элементов.

В рамках реализации гранта РФФИ № 24-77-00010 было выполнено изучение тонштейнов в пределах Иркутского угольного бассейна, в частности в его юго-восточной части. Целью данного исследования является установление геохимических особенностей тонштейнов, выявленных в угольных разрезах юго-восточной части бассейна.

**Материалы и методы**

На сегодняшний день в пределах Иркутского бассейна, начиная с 70-х гг. XX в. были выявлены туфы и туфовые породы [5], наиболее распространенные в юго-восточной части бассейна. Ранее детально были изучены тонштейны только Азейского месторождения [2, 5], на других месторождениях бассейна подобного рода исследования ранее не проводились.

В 2024 и 2025 гг. были исследованы 10 угольных разрезов, на каждом из которых проведено полевое опробование в вертикальном разрезе угольных пластов

бороздовым методом с шириной борозды 5 см. Всего отобрано 280 проб, включая пробы углей, кровли, подошвы и межугольных прослоев с детализацией в местах расположения глинистых прослоев, которые в полевых условиях предварительно идентифицировались как тонштейны. Кроме того, были привлечены данные, полученные ранее по ряду объектов (Азейское, Головинское, Мугунское, Черемховское) в Иркутском бассейне в рамках реализации грантов РФФИ № 18-17-00004 и 18-17-00004-П (руководитель – д.г.-м.н. С.И. Арбузов).

Элементный состав тонштейнов и вмещающих углей определен с использованием комплекса аналитических методов: инструментальный нейтронно-активационный анализ, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, беспламенная атомная абсорбция (определение Hg). Минералогические особенности тонштейнов установлены методом порошковой рентгеновской дифрактометрии. Аналитические исследования выполнены на базе Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» им. Л.П. Рихванова Томского политехнического университета и ЦКП «Приморский центр локального элементного и изотопного анализа» Дальневосточного геологического института ДВО РАН (г. Владивосток).

### **Результаты и их обсуждение**

Мощность выявленных тонштейнов варьирует в интервале от первых см до 15-20 см. Рентгенофазовый анализ показал, что минеральный состав тонштейна представлен преимущественно глинистыми минералами (каолинит, иногда вермикулит и иллит), также в составе в подчиненном положении выявлены породообразующие минералы – кварц, K-Na полевые шпаты. Полученные данные хорошо согласуются с литературными данными по тонштейнам в других угольных бассейнах России и за рубежом, в том числе и для Азейского месторождения в северо-западной части Иркутского угольного бассейна [5].

В вертикальном распределении широкого спектра химических элементов (редкие, редкоземельные, радиоактивные) выявлена приуроченность повышенных содержаний к тонштейнам и вмещающим углям, что указывает на вулканогенный генезис исходного материала, из которого сформированы тонштейны: схожие геохимические особенности установлены для вулканогенных пород кислого и основного состава, а также щелочного пирокластического материала.

Одним из информативных индикаторов тонштейнов, сформированных из вулканогенного материала кислого и основного состава, является высокое содержание Ta и Th. Это установлено нами и для образцов тонштейнов, выявленных в Иркутском угольном бассейне. В то же время нами также обнаружены глинистые прослои, отвечающие среднему и основному составу, для которых содержания Ta и Th существенно ниже.

Для более точной идентификации тонштейнов в угленосных толщах в угольной геохимии используется ряд критериев: титановый модуль ( $TiO_2/Al_2O_3$ ) [4], отношение  $Zr/TiO_2$  к  $Nb/Y$  [10], спектр распределения РЗЭ [8].

Для тонштейнов месторождений юго-восточной части Иркутского угольного бассейна установлено, что исходный пирокластический материал, сформировавший тонштейны, являлся кислым (риолитовым) по показателю титанового модуля ( $TiO_2/Al_2O_3 < 0.02$ ). На диаграмме Винчестера-Флойда ( $Zr/TiO_2 - Nb/Y$ ) пробы располагаются в полях риолитов, риодацитов, дацитов, реже андезитов, трахиандезитов. Характер распределения РЗЭ также указывает на преимущественный вклад пирокластического материала кислого состава (сильная отрицательная Eu аномалия, преобладание LREE над HREE), в ряде образцов выявлено участие кислой пирокластике щелочного ряда (менее выраженная отрицательная Eu аномалия).

### Заключение

Таким образом, полученные данные указывают на отличительные геохимические особенности тонштейнов в угольных пластах в пределах юго-восточной части Иркутского угольного бассейна. Как тонштейны, так и вмещающие их угли специализированы на спектр редких, редкоземельных и радиоактивных элементов. По совокупности минералого-геохимических показателей установлено, что тонштейны сформировались из пирокластического материала кислого материала нормального и/или щелочного ряда.

Обработка и интерпретация данных проведена в рамках реализации гранта Российского научного фонда (проект № 24-77-00010), <https://rscf.ru/project/24-77-00010/>.

### Список литературы

1. Арбузов С.И., Ершов В.В. Геохимия редких элементов в углях Сибири. Томск: Д-Принт, 2007. 468 с.
2. Михеева Е.А., Демонтерова Е.И., Хубанов В.Б. и др. Возраст угленакопления в Иркутском бассейне по данным датирования акцессорных цирконов из тонштейна Азейского месторождения (LA-ICP-MS) // Вестник СПбГУ. 2020. Т. 65. Вып. 3. С. 420-433. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2020.301>
3. Угольная база России. Том IV. Основные закономерности углеобразования и размещения угленосности на территории России. М.: ООО «Геоинформмарк», 2004. 779 с.
4. Юдович Я.Э., Кетпис М.П. Основы литохимии. СПб: Наука, 2000. 479 с.
5. Arbuzov S.I., Mezhibor A.M., Spears D.A. et al. Nature of tonsteins in the Azeisk deposit of the Irkutsk Coal Basin (Siberia, Russia) // International Journal of Coal Geology. 2016. V. 153. P. 99-111. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2015.12.001>
6. Bohor B.F., Triplehorn D.M. Tonsteins: altered volcanic-ash layers in coal-bearing sequences. Colorado: The Geological Society of America, 1993. 42 p.
7. Dai S., Finkelman R.B., Hower J.C. et al. Inorganic geochemistry of coal. Elsevier, 2023. 450 p.
8. Dai S., Ward C.R., Graham I.T. et al. Altered volcanic ashes in coal and coal-bearing sequences: A review of their nature and significance // Earth-Science Reviews. 2017. V. 175. P. 44-74. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.10.005>
9. Spears D.A. The origin of tonsteins, an overview, and links with seatearths, fireclays and fragmental clay rocks // International Journal of Coal Geology. 2012. V. 94. P. 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.09.008>
10. Winchester J.A., Floyd P.A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements // Chemical Geology. 1977. V. 20. P. 325-343.