

## ПРИНЦИПЫ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ (КРИТЕРИИ ВЫДЕЛЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ТИПОВ) РУДОВМЕЩАЮЩИХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ГИДРОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УРАНА

Предложена геохимическая классификация рудовмещающих отложений, которая отражает суммарное содержание в породах компонентов, влияющих на окислительно-восстановительные процессы. Под геохимическим типом понимается группа пород, характеризующаяся определенным, отличным от других значением окислительно-восстановительного потенциала, равновесного породе водного раствора. Классификация может быть применена для прогнозирования гидрогенного уранового оруденения (песчаникового типа), так как позволяет оценить потенциальную рудоносность рудоконтролирующих зон пластового окисления.

*Ключевые слова:* геохимическое картирование, прогнозирование уранового оруденения, зона пластового окисления.

## PRINCIPLES OF GEOCHEMICAL CLASSIFICATION (CRITERIA FOR IDENTIFICATION OF GEOCHEMICAL TYPES) OF ORE-HOSTING SEDIMENTS IN HYDROGENIC URANIUM DEPOSITS

We propose a geochemical classification of ore-hosting sediments, which reflects the total content of components in rocks that influence redox processes. A geochemical type is understood as a group of rocks characterized by a certain, different from others, value of the redox potential of an aqueous solution in equilibrium with the rock. The classification can be used to predict hydrogenic uranium mineralization (sandstone type), as it enables to assess the potential ore content of ore-controlling zones of bed oxidation.

*Keywords:* geochemical mapping, prediction of uranium mineralization, bed oxidation zone.

**Для цитирования:** Шахвердов В. А. Принципы геохимической классификации (критерии выделения геохимических типов) рудовмещающих отложений на гидрогенных месторождениях урана // Региональная геология и металлогения. – 2024. – № 97. – С. 64–69.

Говоря о глобальной позиции крупных гидрогенных урановых месторождений Евразии, исследователи подчеркивают, что их образование связано с орогенными областями, формирование которых обусловлено столкновением в мезозое и кайнозое южной и восточной краевых частей Евразийской плиты [11]. При этом отмечается, что месторождения формируются на инфильтрационной стадии развития рудоформирующей системы в седиментационных бассейнах [3; 11], в результате инфильтрации кислородсодержащих ураноносных подземных вод в водоносных горизонтах [2; 7; 14]. Именно с этим этапом связано развитие протяженных зон пластового окисления, контролирующих урановые месторождения в крупнейших в Южном Казахстане урановорудных провинциях – Чу-Сарысуйской и Сырдарьинской. При этом контрастность и продуктивность уранового оруденения определяется наличием восстановителей в рудовмещающих отложениях на выклинивании зон пластового окисления [11; 21]. Таким образом, при переходе на региональный и локальный уровень прогнозирования инфильтрационных

урановых месторождений большое значение приобретают исследования фациально-геохимических особенностей рудовмещающих отложений. В связи с этим представляется важным обсуждение вопросов, связанных с геохимической классификацией осадочных пород и их картированием при прогнозных работах.

В основу предлагаемой статьи положены анализ опубликованных результатов измерения окислительно-восстановительного потенциала растворов, равновесных различным типам пород, а также выполненные автором комплексные исследования по изучению геохимических особенностей рудовмещающих отложений (содержание органического углерода, железа и его форм и др.) на инфильтрационных месторождениях урана в Чу-Сарысуйской урановорудной провинции. В ходе этих работ было проведено фациально-геохимическое картирование рудовмещающих отложений и предложены новые принципы их классификации, а также показана значительная роль геохимических особенностей рудовмещающих отложений в процессах рудообразования [21].

Вопрос о классификации осадочных пород был поставлен еще в 1940-е годы в работах Л. В. Пустовалова [12], Г. И. Теодоровича [18], Г. Розенбуша [15], М. С. Швецова [22], У. Х. Твенхофела [17], В. И. Лучицкого [10]. Наиболее полную разработку он получил в работах Л. В. Пустовалова, которым были сформулированы общие принципы классификации, в том числе и естественно-генетический [12; 13]. Л. В. Пустоваловым же было показано, что геохимические особенности осадочных пород являются функцией геохимических условий обстановки осадконакопления и впервые введено понятие о «геохимических фациях» как современных, так и ископаемых. Разработанная Л. В. Пустоваловым классификация построена с учетом степени

подвижности главных компонентов осадочной породы (в основу положен принцип механической и химической осадочной дифференциации) и название фаций дается по комплексу аутигенных минералов.

Развивая идеи Л. В. Пустовалова, Г. И. Теодорович [18–20] выделил среди субаквальных отложений по характеру окислительно-восстановительного потенциала осадка пять фаций: восстановительную, слабовосстановительную, нейтральную, слабоокислительную и окислительную. Кроме того, по величине рН среды каждая из фаций делится им на ряд подтипов (от резкощелочного до кислотного). Выделенные фации характеризуются по комплексу аутигенных минералов железа.

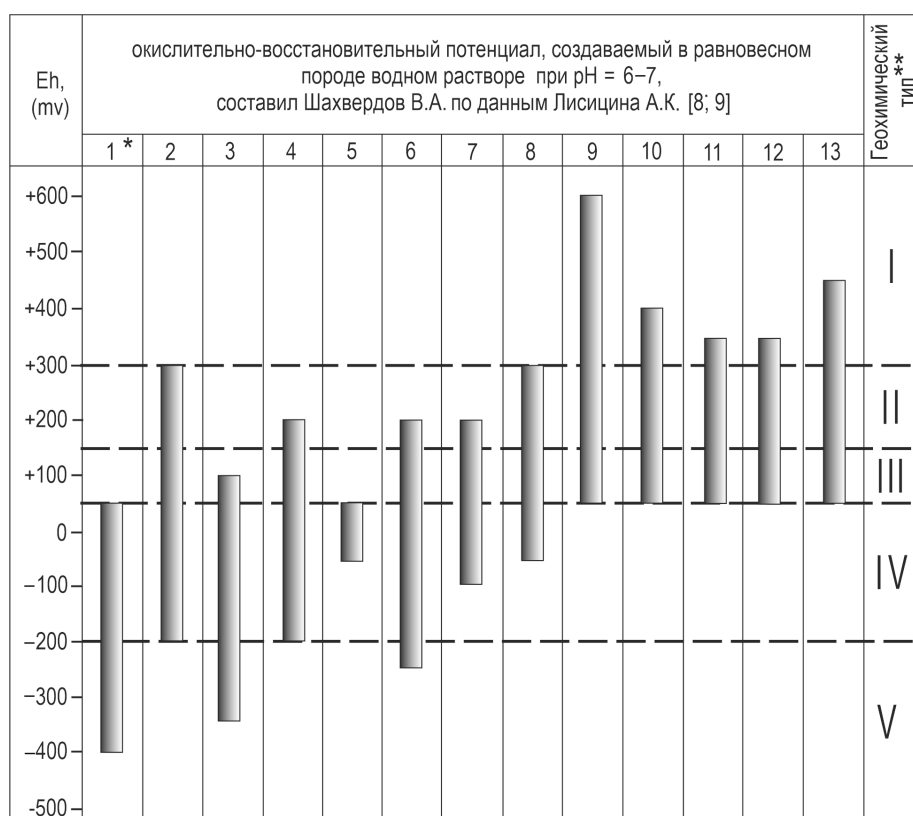


Рис. 1. Геохимические типы рудовмещающих пород и их минералого-геохимическая характеристика

\* Состав пород: 1 – угли неминерализованные, 2 – угли минерализованные, 3 – породы, обогащенные углестым детритом, 4 – породы серого цвета без видимого углестого детрита, 5 – породы зеленоватой и голубовато-серой окраски, 6 – сульфиды железа, 7 – силикаты, 8 – сульфаты и карбонаты, 9 – окислы железа, 10 – красноцветы, 11 – эпигенетически восстановленные с реликтами красноцветов, 12 – не полностью окисленные породы, 13 – полностью окисленные породы.

\*\* Геохимические типы пород и их краткая характеристика: I – окислительный геохимический тип (300–600 mv): породы розового, сиреневого и красного цветов. Аутигенные минералы железа представлены главным образом лимонитом и гётитом, встречаются гидроокислы марганца. Все железо находится в окисной форме ( $Fe^{3+}_{растворимое} \gg Fe^{2+}_{растворимое}$ ). Сингенетическое органическое вещество отсутствует ( $C_{орг.} \ll 0,03\%$ ). II – слабоокислительный геохимический тип (150–300 mv): породы белесого цвета, характеризуются низким содержанием  $Fe_{вал.}$  (менее 0,1%). Среди форм железа преобладают окисные ( $Fe^{3+}_{растворимое} > Fe^{2+}_{растворимое}$ ). Аутигенные минералы железа и сингенетическое органическое вещество практически отсутствуют ( $C_{орг.} < 0,03\%$ ). Характерен в целом низкий уровень потенциал задающих компонентов. III – слабовосстановительный геохимический тип: породы светло-серого, зеленовато-серого, голубовато-серого, а также пестрого цветов. Совместно с лимонитом и гётитом встречаются силикаты и карбонаты железа, реже сульфиды. Среди форм железа существенная доля закисного ( $Fe^{3+}_{растворимое} \approx Fe^{2+}_{растворимое}$ ). Содержание сингенетического органического вещества невысокое ( $C_{орг.} < 0,05\%$ ) и оно минерализовано. IV – восстановительный геохимический тип: породы серого цвета, содержат видимые растительные остатки ( $C_{орг.} 0,05–0,3\%$ ). Аутигенные минералы железа представлены силикатами, карбонатами и сульфидами. Гидроокислы отсутствуют. Среди форм железа преобладает закисное, существенную долю составляет сульфидное ( $Fe^{2+}_{растворимое} + Fe^{2+}_{сульфидное} > Fe^{3+}_{растворимое}$ ). Сингенетическое органическое вещество часто минерализовано. V – резковосстановительный геохимический тип: породы черного и темно-серого цветов, обогащенные углефицированными растительными остатками ( $C_{орг.} > 0,3\%$ ). Ведущие аутигенные минералы железа – сульфиды. Гидроокислы отсутствуют. Среди форм железа преобладает сульфидное ( $Fe^{2+}_{сульфидное} + Fe^{2+}_{растворимое} \gg Fe^{3+}_{растворимое}$ ). Сингенетическое органическое вещество в основном не минерализовано.

Исследования, выполненные Л. А. Гуляевой [4], показали, что среду, восстановительную по отношению к железу, нельзя считать также восстановительной и по отношению к органическому веществу. В осадке может протекать восстановление окиси железа за счет углерода органического вещества, который при этом окисляется до  $\text{CO}_2$ . Показателем среды, восстановительной по отношению к органическому веществу, по мнению Л. А. Гуляевой, является не просто восстановленное железо, а лишь сульфидная его форма, так как потенциал системы с восстановленными ионами  $\text{S}^{2-}$  и  $\text{HS}^-$  находится в интервале от  $-500$  до  $-600$  мВ, а это ниже потенциала, создаваемого органическими кислотами и рядом других органических веществ. В геохимической классификации, предложенной Л. А. Гуляевой для распознавания обстановок осадконакопления, благоприятных для сохранения органического вещества, выделяется четыре типа осадков, отвечающих четырем типам окислительно-восстановительных обстановок по отношению к органическому веществу. Так как концентрация сульфидной серы в осадке тесно связана с содержанием органического вещества, то основным индикатором среды являются сульфиды железа.

Рассмотренные выше классификации отражают геохимические условия формирования осад-

ков, поэтому мало применимы в целях прогноза инфильтрационных месторождений урана, связанных с зонами пластового окисления, так как не предполагают анализа окислительно-восстановительных условий, которые возникают на границе выклинивания зон в процессе рудообразования. Поэтому при прогнозных работах и изучении месторождений инфильтрационного типа была предложена иная типизация. В основу одной из наиболее ранних классификаций [6] был положен применявшийся Г. И. Теодоровичем [20] минералого-геохимический принцип. По минералогическому составу выделяются пиритовый, сидерит-хлоритовый, глауконитовый и другие типы. Более простой является классификация, построенная по цветовому принципу: красноцветный, сероцветный, пестроцветный и др. В других случаях [23] выделение геохимических типов производится одновременно по нескольким классификационным признакам: минералогическому составу (пиритовый, хлорит-серицитовый и др.), цвету (красноцветный и др.), химическому составу (безжелезистый). Наиболее часто применяется типизация Е. М. Шмариовича с дополнениями и изменениями Г. В. Грушевого [2]. Несмотря на то, что эта классификация имеет практическое применение, ее нельзя считать методически совершенной, так как в основу типизации положено несколько различ-

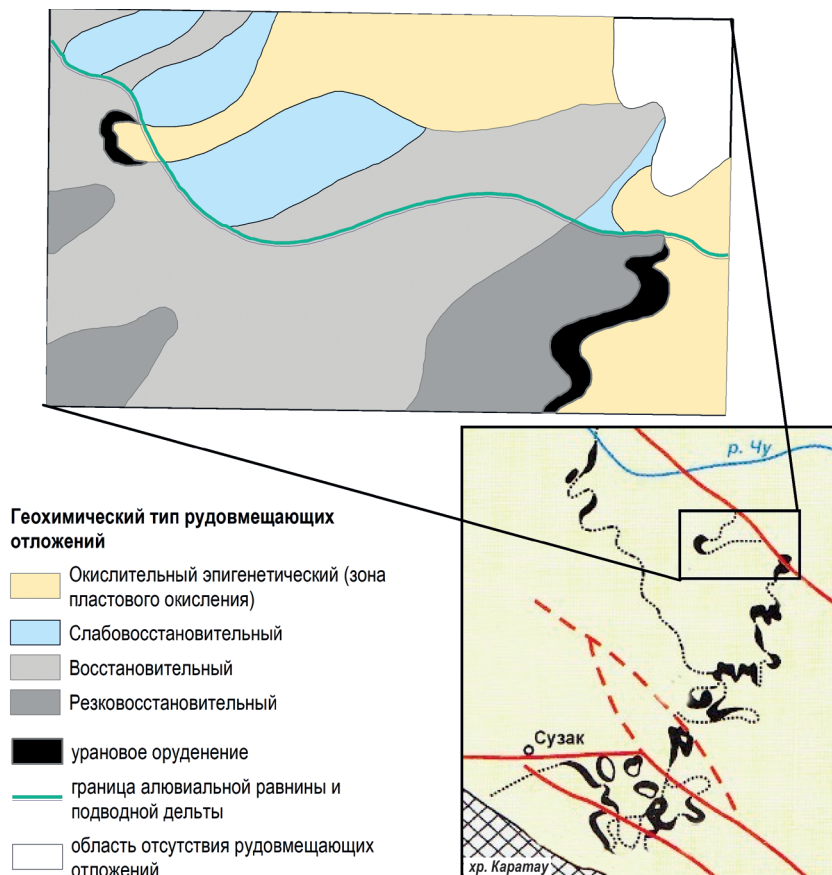


Рис. 2. Зависимости рудоносности зоны пластового окисления от геохимического типа рудовмещающих отложений на месторождении Торткудук (Чу-Сарысуйская урановорудная провинция) [21]

ных классификационных принципов. Исследования показывают, что взятый отдельно только один из признаков (минералогический или химический состав пород, цвет и т. д.) не является достаточным классификационным критерием. Так, цветовая типизация характеризуется большой долей субъективизма ввиду того, что цвет пород не всегда отражает различия их геохимических свойств. Например, к одному сероцветному типу могут относиться как не измененные эпигенетическими процессами отложения, так и преобразованные в результате восстановления, а также глубоко окисленные с высоким содержанием оксидов марганца.

Какие же главнейшие свойства осадочных пород должны быть положены в основу их геохимической классификации при прогнозировании эпигенетических месторождений урана? Ответ на этот вопрос дают исследования, которые показывают, что урановое оруденение тяготеет к породам, характеризующимся «определенными окислительно-восстановительными свойствами» [2]. На большое значение измерения окислительно-восстановительного потенциала пород для понимания эпигенетических процессов указывает также М. Ф. Стащук, подчеркивая, что эти данные позволяют «в зависимости от восстановительных возможностей пород предсказывать эпигенетическую зональность и геохимические условия перераспределения элементов и т. п.» [16].

Измерения окислительно-восстановительного потенциала, создаваемого породами в равновесном им водном растворе [5; 8; 9], указывают на широкий диапазон изменения  $E_h$  растворов в зависимости от состава пород. Причем, как указывает А. К. Лисицин [8], минералогические различия не всегда приводят к существенным изменениям окислительно-восстановительных свойств отложений, являющихся, по мнению многих авторов [16; 24], решающими в формировании уранового оруденения.

Как показали работы по измерению окислительно-восстановительного потенциала [1; 5; 8; 9], на изменение  $E_h$  сред более всего влияет содержание в породе органического углерода, его характер, а также соотношение восстановленных и окисных форм железа и серы. Резко возрастает окислительно-восстановительный потенциал системы в случае минерализации органических остатков даже при значительном их количестве в породе. Таким образом, измерение окислительно-восстановительного потенциала пород, как отмечает Л. К. Лисицин [8], дает дополнительную информацию, которая позволяет дифференцировать породы по восстановительной способности.

Сопоставление результатов измерения окислительно-восстановительного потенциала растворов, равновесных различным типам пород, показывает, что могут быть выделены четыре основных рубежа значений  $E_h$ : +300 mv, +150 mv, +50 mv, -200 mv (рис. 1). На этих рубежах наблюдаются изменения минералогического состава пород, содержания в них органического углеро-

да и других характеристик. В соответствии с этим можно выделить пять основных геохимических типов пород, отличающихся друг от друга по величине окислительно-восстановительного потенциала, создаваемого ими на границе выклинивания зон пластового окисления: I – окислительный более +300 mv, II – слабоокислительный от +300 mv до +150 mv, III – слабовосстановительный от +150 mv до +50 mv, IV – восстановительный от +50 mv до -200 mv, V – резковосстановительный менее -200 mv.

Принципиальное отличие предлагаемой классификации от приведенных ранее заключается в том, что под геохимическим типом понимается группа пород, характеризующаяся определенным, отличным от других, значением окислительно-восстановительного потенциала, равновесного породе водного раствора, а не физико-химическими условиями среды формирования самих рудовмещающих отложений. Так как породы, относящиеся к этим типам, обладают определенным комплексом геохимических признаков и, в первую очередь, содержанием органического вещества, сульфидного железа, а также соотношением окисной и закисной его форм, то появляется возможность перехода от состава отложений к их окислительно-восстановительным свойствам без непосредственного их измерения и к геохимической типизации, построенной на едином принципе.

Важной особенностью предложенной классификации является возможность ее применения для эпигенетически измененных пород. Для этого к названию основного типа добавляется слово «вторичный» или «эпигенетический» (окислительный эпигенетический). Кроме этого, в пределах основных классов можно производить дальнейшую классификацию более высокого уровня на основе других критериев, специфических для разных районов, соблюдая определенную иерархию признаков, например, по минералогическому составу (восстановительный сульфидный).

**Заключение.** Предложенная геохимическая классификация отражает суммарное содержание в породах компонентов, влияющих на окислительно-восстановительные процессы, и может быть применена в целях геохимического картирования и прогнозных работ. Она позволяет оценить, какие геохимические условия возникают на вклинивании зон пластового окисления в период рудообразования, и таким образом определить потенциальную рудоносность зоны пластового окисления (рис. 2). Широкому применению классификаций, основанных на измерении величины окислительно-восстановительного потенциала растворов, равновесных породам, препятствует достаточно длительная и трудоемкая операция определения  $E_h$ . Поэтому, говоря о практическом применении настоящей классификации, следует еще раз отметить возможность ее использования без прямого измерения окислительно-восстановительного потенциала, так как отнесение пород к тому или иному геохимическому классу осуществляется по

комплексу минералого-геохимических признаков (индикаторов), таких как содержание и валентные формы железа, содержание органического углерода и степень его минерализации, а также их минеральный состав (таблица).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Германов А. И. Геохимические и гидродинамические условия возникновения урановой минерализации в нефтеводоносных горизонтах // *Геохимия*. – 1961. – № 2. – С. 99–109.
- Гидрогенные месторождения урана (основы теории образования) / С. Г. Батулин, Г. В. Грушевой, О. И. Зеленова и др. – М.: Атомиздат, 1980. – 270 с.
- Грушевой Г. В., Печенкин И. Г. Металлогения ураноносных осадочных бассейнов Центральной Азии. – М.: ВИМС, 2003. – 102 с.
- Гуляева Л. А. Геохимические фации, окислительно-восстановительные обстановки и органическое вещество осадочных пород // *Советская геология*. – 1955. – № 47. – С. 88–103.
- Евсеева Л. С., Фомина П. П. Окислительно-восстановительные свойства осадочных пород. – М.: Атомиздат, 1965. – 68 с.
- Каширцева М. Ф. Методы изучения эпигенетических изменений в рыхлых осадочных породах. – М.: Недра, 1970. – 152 с.
- Кисляков Я. М., Щеточкин В. Н. Гидрогенное рудообразование. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. – 608 с.
- Лисицин А. К. Гидрогеохимия рудообразования (на примере экзогенных эпигенетических урановых руд). – М.: Недра, 1975. – 247 с.
- Лисицин А. К., Кондратьева И. А., Лакеева Т. Н. Роль вмещающих пород в накоплении урана на вклинивании зон пластового окисления. (Использование значений Eh и pH химического равновесия воды с породами и минералами) // *Известия АН СССР. Сер. геол.* – 1969. – № 8. – С. 57.
- Лучицкий В. И. Петрография. – М.; Л.: ГОНТИ, 1938. – 302 с.
- Печенкин И. Г., Грушевой Г. В. Металлогения ураноносных осадочных бассейнов Евразии. – М.: РИС «ВИМС», 2015. – 224 с.
- Пустовалов Л. В. Геохимические фации и их значение в общей и прикладной геологии // *Проблемы советской геологии*. – 1933. – Т. 1, № 1. – С. 57–80.
- Пустовалов Л. В. Об основных принципах классификации осадочных горных пород // *Вопросы литологии и палеогеографии*. – 1962. – № 310. – 62 с.
- Разведка месторождений урана для отработки методом подземного выщелачивания / М. В. Шумилин, Н. Н. Муромцев, К. Г. Бровин и др. – М.: Недра, 1985. – 208 с.
- Розенбуш Г. Описательная петрография. – М.; Л.: Горгеонефтеиздат, 1934. – 720 с.
- Стащук М. Ф. Проблема окислительно-восстановительного потенциала в геологии. – М.: Недра, 1968. – 208 с.
- Твенхофел У. Х. Учение об образовании осадков. – М.; Л.: ПНТИ, 1936. – 916 с.
- Теодорович Г. И. Осадочные геохимические фации по профилю окислительно-восстановительного потенциала и вероятные нефтепроизводящие их типы // *ДАН СССР*. – 1954. – Т. 96, № 3. – С. 609–611.
- Теодорович Г. И. Осадочные геохимические фации // *Бюлл. МОИП. Новая серия. Отд. геологии*. – 1947. – Т. 22 (1).
- Теодорович Г. И. Осадочные минералого-геохимические фации // *Вопросы минералогии осадочных образований*. – Львов, 1956. – С. 39–56.

21. Шахвердов В. А. Крупные экзогенные эпигенетические месторождения урана (на примере месторождений в палеогеновых отложениях Чу-Сарысуйской урановорудной провинции) / под ред. Ю. Б. Марина // *Крупные и уникальные месторождения редких и благородных металлов*. – СПб., 1998. – С. 325.

22. Швецов М. С. Петрография осадочных пород. – М.; Л.: Госгоргеонефтеиздат, 1934. – 373 с.

23. Шмариович Е. М. Содержание урана в неизменных осадочных породах различных типов и зонах окисления // *Литология и полезные ископаемые*. – 1973. – № 2. – С. 109–121.

24. Экзогенные эпигенетические месторождения урана. Условия образования / С. Г. Батулин, Е. А. Головин, О. И. Зеленова и др. – М.: Атомиздат, 1965. – 323 с.

### REFERENCES

- Germanov A. I. Geokhimicheskie i gidrodinamicheskie usloviya vzniknoveniya uranovoy mineralizatsii v neftevodonosnykh gorizontakh. *Geokhimiya*, 1961, no. 2, pp. 99–109.
- Batulin S. G., Grushevoy G. V., Zelenova O. I. et al. *Gidrogennye mestorozhdeniya urana (osnovy teorii obrazovaniya)*. Moscow, Atomizdat, 1980, 270 p.
- Grushevoy G. V., Pechenkin I. G. *Metallogeniya uranonosnykh osadochnykh basseynov Tsentral'noy Azii*. Moscow, VIMS, 2003, 102 p.
- Gulyaeva L. A. *Geokhimicheskie fatsii, okislitel'no-vosstanovitel'nye obstanovki i organicheskoe veshchestvo osadochnykh porod*. *Sovetskaya geologiya*, 1955, no. 47, pp. 88–103.
- Evseeva L. S., Fomina P. P. *Okislitel'no-vosstanovitel'nye svoystva osadochnykh porod*. Moscow, Atomizdat, 1965, 68 p.
- Kashirtseva M. F. *Metody izucheniya epigeneticheskikh izmeneniy v rykhlykh osadochnykh porodakh*. Moscow, Nedra, 1970, 152 p.
- Kislyakov Ya. M., Shchetochkin V. N. *Gidrogennoe rudoobrazovanie*. Moscow, ЗАО «Geoinformmark», 2000, 608 p.
- Lisitsin A. K. *Gidrogeokhimiya rudoobrazovaniya (na primere ekzogennykh epigeneticheskikh uranovykh rud)*. Moscow, Nedra, 1975, 247 p.
- Lisitsin A. K., Kondrat'eva I. A., Lakeeva T. N. *Rol' vmeshchayushchikh porod v nakoplenii urana na vklinivaniy zon plastovogo okisleniya. (Ispol'zovanie znacheniy Eh i rN khimicheskogo ravnovesiya vody s porodami i mineralami)*. *Izvestiya AN SSSR. Ser. geol.*, 1969, no. 8, pp. 57.
- Luchitskiy V. I. *Petrografiya*. Moscow, Leningrad, GONTI, 1938, 302 p.
- Pechenkin I. G., Grushevoy G. V. *Metallogeniya uranonosnykh osadochnykh basseynov Evrazii*. Moscow, RIS «VIMS», 2015, 224 p.
- Pustovalov L. V. *Geokhimicheskie fatsii i ikh znachenie v obshchey i prikladnoy geologii. Problemy sovetskoy geologii*, 1933, vol. 1, no. 1, pp. 57–80.
- Pustovalov L. V. *Ob osnovnykh printsipakh klassifikatsii osadochnykh gornykh porod. Voprosy litologii i paleogeografii*, 1962, no. 310, 62 p.
- Shumilin M. V., Muromtsev N. N., Brovin K. G. et al. *Razvedka mestorozhdeniy urana dlya otrabotki metodom podzemnogo vyshchelachivaniya*. Moscow, Nedra, 1985, 208 p.
- Rozenbush G. *Opisatel'naya petrografiya*. Moscow, Leningrad, Gorgeonefteizdat, 1934, 720 p.
- Stashchuk M. F. *Problema okislitel'no-vosstanovitel'nogo potentsiala v geologii. Problemy sovetskoy geologii*, 1933, vol. 1, no. 1, pp. 57–80.
- Pustovalov L. V. *Ob osnovnykh printsipakh klassifikatsii osadochnykh gornykh porod. Voprosy litologii i paleogeografii*, 1962, no. 310, 62 p.
- Shumilin M. V., Muromtsev N. N., Brovin K. G. et al. *Razvedka mestorozhdeniy urana dlya otrabotki metodom podzemnogo vyshchelachivaniya*. Moscow, Nedra, 1985, 208 p.
- Rozenbush G. *Opisatel'naya petrografiya*. Moscow, Leningrad, Gorgeonefteizdat, 1934, 720 p.
- Stashchuk M. F. *Problema okislitel'no-vosstanovitel'nogo potentsiala v geologii*. Moscow, Nedra, 1968, 208 p.
- Tvenkhofel U. Kh. *Uchenie ob obrazovanii osadkov*. Moscow, Leningrad, PNTI, 1936, 916 p.
- Teodorovich G. I. *Osadochnye geokhimicheskie fatsii po profilyu okislitel'no-vosstanovitel'nogo potentsiala i veroyatnye nefteproizvodyashchie ikh tipy. DAN SSSR*, 1954, vol. 96, no. 3, pp. 609–611.

19. Teodorovich G. I. Osadochnye geokhimicheskie fatsii. *Byull. MOIP. Novaya seriya. Otd. Geologii*, 1947, vol. 22 (1).
20. Teodorovich G. I. Osadochnye mineralogo-geokhimicheskie fatsii. *Voprosy mineralogii osadochnykh obrazovaniy*. L'vov, 1956, pp. 39–56.
21. Shakhverdov V. A. Krupnye ekzogennye epigeneticheskie mestorozhdeniya urana (na primere mestorozhdeniy v paleogenovykh otlozheniyakh Chu-Sarysuyskoy uranovorudnoy provintsii). Ed. by Yu. B. Marina. *Krupnye i unikal'nye mestorozhdeniya redkikh i blagorodnykh metallov*. St. Petersburg, 1998, pp. 325.
22. Shvetsov M. S. Petrografiya osadochnykh porod. Moscow, Leningrad, Gosgorgonefteizdat, 1934, 373 p.
23. Shmariovich E. M. Soderzhanie urana v neizmenennykh osadochnykh porodakh razlichnykh tipov i zonakh okisleniya. *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 1973, no. 2, pp. 109–121.
24. Batulin S. G., Golovin E. A., Zelenova O. I. et al. Ekzogennye epigeneticheskie mestorozhdeniya urana. Usloviya obrazovaniya. Moscow, Atomizdat, 1965, 323 p.

---

*Шахвердов Вадим Азимович* – канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (Институт Карпинского). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, Россия, 199106. <Vadim\_Shakhverdov@vsegei.ru>

*Shakhverdov Vadim Azimovich* – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, Researcher, All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky (Karpinsky Institute). 74 Sredny Pr., St. Petersburg, Russia, 199106. <Vadim\_Shakhverdov@vsegei.ru>