

УДК 553.06:504.05

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ СКОПЛЕНИЙ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ КАК КЛАССИФИКАЦИОННЫЙ ПРИЗНАК ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Усманова Т.В., Рихванов Л.П.*Томский политехнический университет, Томск, e-mail: usmanova@tpu.ru*

Целью исследований являлось усовершенствование предложенной нами ранее классификации техногенных месторождений в связи с полученными нами новыми данными. В процессе работы проанализированы данные о составе отходов различного производства, на их основе и данных о составе исходного добываемого или перерабатываемого сырья, а также используемых технологий его переработки показаны возможные причины образования скоплений ценных компонентов в отходах. Полученные результаты использованы для обоснования выделения различных типов техногенных месторождений. Разработанная нами классификация техногенных месторождений позволит на стадии предварительного изучения техногенных объектов сделать анализ возможностей накопления в отходах производства ценных компонентов и в зависимости от этого оценить перспективность данных объектов на предмет возможности получения из них ценной продукции.

Ключевые слова: ценные компоненты, техногенные месторождения, классификация, отходы производства

THE CONDITIONS OF FORMATION OF CLUSTERS OF SIGNIFICANT COMPONENTS AS A CLASSIFIED SIGN OF TECHNOGENIC DEPOSITS

Usmanova T.V., Rikhvanov L.P.*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: usmanova@tpu.ru*

The purpose of the research was to improve our earlier proposed classification of technogenic deposits in connection with the new data received. In the process of data analysis on the composition of various waste products based on these data and the composition of raw extracted or processed feedstock as well as technology used for its processing, the possible causes for the accumulation formation of valuable components in the waste are shown. The results obtained are used for distinguishing different types of technogenic deposits. The classification of technogenic deposits developed by us would allow for making the analysis of possible accumulation of valuable components in the production waste at the stage of preliminary study of technogenic formations and, depending on it, evaluating the prospects of these facilities for the possibility of valuable products production from them.

Keywords: valuable components, technogenic deposits, classification, waste products

Большинство предложенных на настоящий момент классификаций техногенных минеральных объектов носит общий характер (Трубецкой, Уманец, Никитин, 1987 г., 1989 г.; Наркелюн, 1996 г. и др.), они в основном направлены на пересмотр отходов как техногенного минерального сырья в отдельных горнодобывающих районах. При этом, как правило, не учитываются условия, при которых происходит накопление ценных компонентов, позволяющие рассматривать отходы производства как техногенные месторождения. Но при выборе способа переработки техногенного сырья необходимо учитывать механизм образования скоплений ценных компонентов в такого рода объектах.

Целью исследования являлось усовершенствование предложенной нами ранее классификации техногенных месторождений [11], которая была создана с учетом причин образования в отходах различных производств ценных компонентов.

Материал и методы исследования

Исходными материалами являлись результаты исследований, которые были получены авторами при изучении отходов различных производств, а также результаты других исследователей, позволившие обосновать образование скоплений ценных компонентов

в отходах производства как классификационный признак техногенных месторождений. Для достижения поставленной цели использовались методы системного анализа, построение классификации и другие методы, используемые в науке.

Результаты исследования и их обсуждение

В таблице представлена классификация техногенных месторождений, в которой основным классификационным признаком являются условия накопления ценных компонентов в отходах различных производств.

Классическими образцами объектов первого типа являются месторождения пятиэлементной рудной формации Центральной Европы (Co–Ni–Bi–Ag–U месторождения), из руд которых уже в 15–16 веках добывалось серебро, а другие компоненты, в том числе богатые урановые руды, уходили в отвал. С момента открытия в 1896 году явления радиоактивности эти отвалы стали использовать как источники радия – продукта распада U^{238} , один грамм которого оценивался в 1 миллион золотых рублей, а после 1939 года, когда было открыто явление деления U^{235} и началась борьба за ядерное преимущество, из этих же отвалов добывался уран.

Возможные причины возникновения (генезис) техногенных месторождений

Тип	Причина возникновения
1	Потери ценных компонентов, неизвестных науке в период отработки месторождения, в продуктах горно-металлургического передела
2	Потери ценных компонентов вследствие несовершенства существующих на момент отработки технологий их извлечения
3	Потери ценных компонентов из-за недостаточной степени изученности руд и продуктов их переработки на содержание ценных компонентов
4	Потери в технологических цепях химических, металлургических и других производств, когда используемые в технологии ценные компоненты накапливаются в шламах, отстойниках, сбросных водах и так далее
5	Потери ценных компонентов, образующихся в результате ядерных превращений и захораниваемых в отходах производств ядерно-топливного цикла
6	Потери ценных компонентов при проведении технологических процессов (плавка и т.д.) в зданиях и помещениях
7	Потери ценных компонентов в свалках промышленных и бытовых отходов
8	Потери ценных компонентов вдоль путей транспортировки, в районах перегрузки и хранения сырья и готовой продукции
9	Сточные шахтные и карьерные воды; подтоварные воды, извлекаемые при добыче углеводородного сырья
10	Накопление отходов добычи, обогащения и переработки, для которых не были найдены эффективные направления использования

Наиболее ярким примером объектов второго типа являются отвалы, прежде всего так называемые эфеля, золоторудных и других благороднометалльных россыпей. По современным оценкам и многочисленным литературным данным, современные старательские артели, использующие традиционные промысловые приборы, теряют от 20 до 50% золота [2]. Одним из первых, кто обратил внимание на этот факт, был основатель сибирской геологической школы В.А. Обручев [6].

Приблизительная оценка прогнозных ресурсов Ауро всех элементах техногенных объектов в целом по стране составляет порядка 5000 т, что эквивалентно в лучшем случае половине всего добытого из россыпей золота [3].

К объектам третьего типа можно отнести многочисленные отвалы, хвосты переработки, золы и шлаки, илы отстойников самых разнообразных месторождений Сибири, содержащих ценные компоненты в промышленно значимых концентрациях, о чем на момент добычи и переработки руды отсутствовала информация. Примером такого рода месторождений можно считать золошлаковые отходы, образованные при сжигании угля, добытого на Бородинском разрезе, в которых были обнаружены повышенные концентрации Zn и Sr, превышающие минимально промышленные значения в золах углей соответственно в 2,5 и 2,7 раза [15]. В золошлаковых отходах, образующихся в промышленной котельной шахты «Хакасская» обнаружены повышенные концентрации Be – в 4, V – в 16, Y – в 10, Nb и Bi – в 6 раз превышающие минимальные промышленно значимые для

зол углей и Ba – в 2,5 раза превышающие кларк для золы углей по Я.Э. Юдовичу [15]. Вопросы комплексной переработки золошлаковых отходов рассматривал А.З. Юровский [19].

Нами проводились исследования особенностей химического состава лежалых отходов некоторых горнопромышленных предприятий Хакасии, с этой целью студентами под руководством профессора кафедры ГЭГХ ТПУ С.И. Арбузова были опробованы хвостохранилища месторождений Сорское, Киялых-Узень, Юлия.

В результате проведенных исследований были получены данные, что в хвостах Сорского ГОКа, перерабатывающего медно-молибденовые руды, обнаружены высокие концентрации Mo, Cu, Pb, Ag, что говорит о том, что на данном объекте имеют место потери как основных, так и сопутствующих компонентов руд, а сами хвосты могут являться объектом переработки [17].

В хвостах переработки руд бывшего медно-молибденового месторождения Киялых-Узень обнаружены повышенные концентрации Mo, Cu, Ag, Sb, Zn, As, Sn, Cr, что говорит как о несовершенстве существовавшей технологии извлечения основных компонентов из руд месторождения, применяемой на обогатительной фабрике, так и недостаточной степени изученности элементного состава руд месторождения Киялых-Узень [17].

В материале старого хвостохранилища обогатительной фабрики, перерабатывающей медные и свинцовые руды, в настоящий момент уже не разрабатываемого место-

рождения Юлия, обнаружены повышенные концентрации ряда элементов, представляющих как основные рудные, так и сопутствующие компоненты, и эти образования могут представлять интерес для извлечения методами выщелачивания золота и серебра.

Примером четвертого типа месторождений могут являться отстойники шламо-накопителей производств, использующих процессы хромирования, никелирования, золочения и так далее, когда в шламах или вентиляционной пыли происходит накопление Cr, Ni, Au и других компонентов.

Примером объектов пятого типа нашей классификации являются жидкие радиоактивные отходы, образующиеся на радиохимических заводах при переработке отработанного ядерного топлива (ОЯТ), и в которых происходит накопление продуктов деления ядер урана. На это мы обратили внимание после знакомства с геохимическими и минералогическими особенностями месторождения Окло, являющегося природным ядерным реактором [10]. Среди них особый интерес представляют благородные элементы (Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, Ag, Au) [16]. Количество металлов платиновой группы (МПГ) в ОЯТ зависит от вида топлива, глубины его выгорания в реакторе и продолжительности последующей выдержки, наибольших величин оно достигает в топливе реакторов на быстрых нейтронах [9]. Эти отходы могут рассматриваться как источник платиноидов в будущем.

К шестому типу нашей классификации можно отнести конструкции зданий и сооружений, в которых осуществлялся аффинаж драгоценных металлов, например, золотоплавильные или золото-аффинажные заводы, а также почвогрунты прилегающих к ним территорий. Примером такого типа объектов является район старого аффинажного завода в г. Новосибирске, который был закрыт в 1994 г. *После проведения экспертизы на предприятии обнаружено, что за 53 года с газом, с проливами металла в стены и грунт въелось неучтенного золота – 630 кг и серебра – 4,5 тонны* [4].

Примером седьмого типа могут являться как старые (в том числе несанкционированные) свалки промышленных предприятий, так и полигоны бытовых отходов. Например, за счет рекуперации при производстве 1 т алюминия из бытовых отходов можно сэкономить около 5 т бокситов, а при производстве 1 т меди – почти 130 т медной руды [13].

К восьмому типу объектов могут быть отнесены почвогрунты вдоль путей транспортировки сырья и готовой продукции с промышленно значимыми содержаниями ценных элементов. К примеру, Ю.А. Ма-

каровой с соавторами были проведены исследования почв и грунтов территории Верхне-Пышминского промышленного узла (Средний Урал), включающего ныне недействующий подземный рудник, обогательную фабрику, шламохранилище, комбинат «Уралэлектромедь». Среди выявленных в вертикальном профиле почв тяжелых металлов превышение ПДК фиксируется у Cu, Zn, Pb, As, Cr, Ni, Sb. Были получены данные, что максимальные их концентрации приурочены к местам складирования и транспортировки сырья и продукции [5].

На основе полученных данных Ю.А. Макаровой был проведен подсчет прогнозных ресурсов цветных металлов в грунтах комбината. Выполненный расчет дал основание поставить вопрос о вероятном использовании техногенных грунтов территории комбината в качестве сырья для извлечения цветных металлов.

К этому типу объектов также могут быть отнесены скопления нефтепродуктов с извлекаемыми объемами в сотни, тысячи и более кубометров, формирующиеся в почвогрунтах и приповерхностных горизонтах в районе нефтебаз, нефтехранилищ, нефтеперерабатывающих заводов, находящихся в эксплуатации достаточно длительный срок (20, 30 и более лет) за счёт постоянных утечек, происходящих (или, крайней мере, происходивших ранее) практически на всех стадиях производства. Помимо очевидной экологической опасности эти залежи в некоторых случаях представляют и определённый коммерческий интерес, поскольку в благоприятных условиях большая часть продукта – бензина (смеси бензинов) или керосина может быть извлечена и переработана [18].

К девятому типу техногенных объектов могут быть отнесены подтоварные воды нефтяных месторождений, извлекающиеся на поверхность попутно при добыче нефти.

С.В. Алексеевым и др. [1] были получены данные о том, что, к примеру, эксплуатационные запасы высококонцентрированных рассолов Иркутской области и Западной Якутии являются достаточной базой для организации промышленного производства лития и других ценных компонентов с низкой себестоимостью. Важным преимуществом пластовых вод как сырьевого источника редких элементов является экологическая чистота добычи и производства продукции, исключаящая нарушение состояния окружающей природной среды, дробление и измельчение огромных масс горных пород и применение сложных схем их обогащения.

Другим примером такого рода объектов могут являться шахтные, карьерные, под-

отвальные воды горнорудных предприятий. Исследования подотвальных вод месторождений Южного Урала показали, что в них водах встречаются редкие, редкоземельные элементы; большинство из них содержатся в концентрациях, во много раз превышающих региональный кларк [8]. Таким образом, они представляют собой минеральное сырье, и в то же время высокие концентрации металлов предопределяют высокую токсичность таких вод, что говорит о необходимости их извлечения.

К десятому типу техногенных объектов могут быть отнесены отвалы вскрышных пород, отходы обогащения и металлургического передела, золошлаковые отходы и так далее, для которых пока еще не были найдены эффективные области использования.

Например, золошлаковые отходы золоотвала Назаровского разреза могут рассматриваться на предмет их использования в сельском хозяйстве вследствие повышенного содержания в них таких элементов, как Са и Мп, а повышенное содержание в них бария может быть использовано в сельском хозяйстве для борьбы с вредителями [15]. Еще одним примером месторождений этого типа является обедненный гексафторид урана UF_6 (ОГФУ), накапливающийся на предприятиях ядерно-топливного цикла, который составляет около 85 % от общего объема перерабатываемого сырья. В 2009 г. в Зеленогорске была пущена первая в России промышленная установка по переработке ОГФУ W-ЭХЗ, позволяющая переводить его в более удобную для длительного хранения закись-окись урана и получать фтороводородную кислоту, востребованную во многих отраслях промышленности. Только за 1-е полугодие 2011 г. было произведено и отгружено 2 355 тонн кислоты, кроме того, было произведено более 100 тонн нового продукта – безводного фтористого водорода [7]. Получаемый фтористый водород может быть использован при переработке коллективных ильменито-циркониевых концентратов [12].

Выводы

Разработанная нами генетическая классификация техногенных источников минерального сырья позволит на стадии их предварительного изучения сделать анализ о возможных путях накопления в отходах производства ценных компонентов и в зависимости от этого выбрать методику их геолого-экономической оценки, а также выявить перспективность данных объектов на предмет возможности получения из них ценной продукции.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Наука» по теме 3.2702.2011.

Список литературы

1. Литиеносные подземные воды Иркутской области и западной Якутии / С.В. Алексеев, Л.П. Алексеева, А.Г. Вахрамеев и др. // Горный журнал. – 2012. – № 2. – С. 8–13.
2. Афанасенко С.И., Лазариди А.Н. Золотая жила техногенных отвалов // Мат-лы 14 Междунар. совещ. «Россыпи и месторождения кор выветривания: современные проблемы исследования и освоения». – Новосибирск: «Апельсин», 2010. – С. 64–68.
3. Беневольский Б.И., Кривцов А.И., Романчук А.И. Два аспекта проблемы утилизации горно-промышленных отходов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2011. – № 1. – С. 37–41.
4. Игнатова Т.Н. Элементный состав организма человека и его связь с факторами среды обитания: дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Томск, 2010. – 228 с.
5. Макарова Ю.А. Техногенез геологической среды Верхне-Пышминского промышленного узла (Средний Урал): автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук – Екатеринбург, 2004. – 20 с.;
6. Обручев В.А. Запасы золота в отвалах приисков и возможность их извлечения // Изв. АН СССР. Сер. геологическая. – 1942. – № 3. – С. 48–57.
7. Прессцентр ОАО «ТВЭЛ» [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tvcl.ru/wps/wcm/connect/tvel/tvelsite/presscentre/news/aef18d00477a351bbc28fe9e1277e356> (дата обращения 12.10.12).
8. Сульфидсодержащие отвалы и хвостохранилища – опасные техногенные загрязнители окружающей среды горнорудных районов Башкортостана / В.Н. Пучков, Д.Н. Салихов, Р.Ф. Абдрахманов и др. // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. – 2007. – № 3. – С. 238–247.
9. Ренард Э.В., Величко А.В. Труднорастворимые остатки и осадки водно-экстракционной технологии регенерации отработавшего топлива АЭС (Пурекс-процесс) как стратегический источник техногенных (осколочных) благородных металлов // Атомная техника за рубежом. – 1993. – № 9. – С. 3–9.
10. Рихванов Л.П., Готье-Ляфей Ф., Раскошная Т.В. Что подсказывает природа человеку на примере изучения естественных ядерных реакторов в Африке // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы 2 Международной конференции. – Томск: Изд-во «Тандем-Арт», 2004. – С. 506–511.
11. Рихванов Л.П., Филинова (Усманова) Т.В. К проблеме техногенных месторождений Сибири // Материалы региональной конференции геологов Сибири, Дальнего Востока и северо-востока России. – Томск, 2000. – Т. 2. – С. 61–63.;
12. Комплексная переработка коллективных рудных концентратов, выделяемых из песков россыпных ильменит-циркониевых месторождений / А.И. Соловьев, В.М. Малютин, Л.П. Рихванов, Т.В. Усманова, С.А. Бабенко // Горный журнал. Спец. выпуск. Цветные металлы. – 2006. – № 4. – С. 52–56.
13. Теоретические основы биогеохимической экспертизы окружающей среды. – Владивосток; Хабаровск: Дальнаука, 1998. – 157 с.
14. Усманова Т.В. К вопросу о генезисе техногенных месторождений // Проблемы разведки, добычи и обогащения руд благородных металлов и техногенного сырья: Труды Международной научно-технической конференции 8–11 ноября 2000 г. – Екатеринбург, 2000. – С. 44–46.
15. Усманова Т.В. Особенности состава золошлаковых отходов тепловых электростанций // Перспективы развития

технологий переработки вторичных ресурсов в Кузбассе. Экологические, экономические и социальные аспекты: Сб. науч. тр. – Новокузнецк, 2012. – С. 189–197.

16. Усманова Т.В. Отработанное ядерное топливо как перспективный объект для извлечения металлов платиновой группы // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы 3 Международной конференции. – Томск: STT, 2009. – С. 619–622.

17. Усманова, Т.В. Техногенные месторождения, сформировавшиеся на объектах горнопромышленного производства в Хакасии. – Вестник науки Сибири. – 2012. – № 3(2). – 9 с. Получено из <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/310>.

18. Шакуро С.В. Применение электроразведочных методов при изучении бензиновых (керосиновых) линз на объектах хранения и переработки нефтепродуктов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://geology.front.ru/gas/2004_2/index.htm (дата обращения: 20.10.09).

19. Юровский А.З. Минеральные компоненты твердых горючих ископаемых. – М.: Недра, 1968г. – 214 с.

References

1. Alekseev S.V., Alekseeva L.P. t dr. Vahromeev A.G., *Gornyzhurnal-Mining Journal*, 2012, no. 2, pp. 8-13.

2. Afanasenko S.I., Lazaridi A.N. Materialy 14 Mezhdunarodnogo soveshchaniya «Rossyi i mestorozhdeniya koruyevtrivaniya: sovremennye problemy issledovaniya iosvoeniya» (Proc. of 14th Int Meet. «Alluvial sand weathering crustsdeposits: modern problems of researchand development»). Novosibirsk, 2010, pp. 64 – 68.

3. Benevol'skij B.I., Krivcov A.I., Romanchuk A.I. *Mineral'nye resursy Rossii. Jekonomika i upravlenie-Mineral resources of Russia. Economics and Management*, 2011, no. 1, pp. 37-41.

4. Ignatova T.N. *Jelementnyj sostav organizma chelovekai ego svjaz' sfaktoramisredyobitanija* [The elemental composition of the human bodyand its connection withenvironmental factors], Tomsk, 2010, 228 p.

5. MakarovaJu. A. *Tehnogenezgeologicheskoy sredy Verhne-Pyshminskogo promyshlennogo uzla (Srednij Ural)* [Technogenes is geological environment ofthe Upper Pyshminskyindustrial unit (Middle Urals)], Ekaterinburg, 2004, 20 p.

6. Obruchev V.A., *Izv. AN SSSR. Ser. geologicheskaja-Proceedings of theAcademy of Sciences ofthe USSR .geological-series*, 1942, no. 3, pp. 48–57.

7. TVEL (2012), Available at: <http://www.tvel.ru/wps/wcm/connect/tvel/tvelsite/presscentre/news/aef18d00477a351bbc-28fe9e1277e356> (accessed 12 October 2012).

8. Puchkov V.N., Salihov D.N., Abdrahmanov R.F. i dr., *Geojekologija. Inzhenernaja geologija. Gidrogeologija. Geokriologija-Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geokriologiya*, 2007, no. 3, pp. 238–247.

9. RenardJe.V., Velichko A.V. *Atomnajtehnika zarubezhom – Atomic energy technologyabroad*, 1993, no. 9, pp. 3–9.

10. Rihvanov L.P., F.Got'e-Ljafej, T.V. *Materialy 2 Mezhdunarodnoj konferencii «Radioaktivnost' i radioaktivny ejelenty v srede obitanija cheloveka»* (Proc. of 2thInt. Conf. «Radioactivity and radioactive elements in the human environment»), Tomsk, 2004, pp.506-511.

11. Rihvanov L.P., Filinova (Usmanova) T.V. *Materialy regional'noj konferencii geologov Sibiri, Dal'nego Vostokai-severo-vostoka Rossii* (Proc. of the Reg.Conf.of Geologists of Siberia, the Far East and north-east Russia), Tomsk, 2000, Vol. 2, pp. 61–63.

12. Solov'ev A.I., Maljutina V.M., Rihvanov L.P., Usmanova T.V., Babenko S.A. *Gornyzhurnal. Spec. vypusk. Cvetnyemetally – Mining Journal. Special Issue. Non-ferrous metals*, 2006, no. 4, pp. 52–56.

13. *Teoreticheskie osnovy biogeohimicheskoyj ekspertizy okruzhajushhej sredy* [Theoretical basis ofthe examination of the biogeochemical environment], Vladivostok; Habarovsk: Dal'nauka, 1998, 157 p.;

14. Usmanova T.V. *Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Problemy razvedki, dobychi i obogashhenija rud blagorodnyh metallov i tehnogennogo syr'ja» 8–11 nojabrja 2000* (Proc. Int.Sci. and Technic. Conf.)Problems of exploration,mining and millingof preciousmetals andtechnogenic raw materials», November 8-11,2000) – Ekaterinburg, 2000, pp. 44–46.

15. Usmanova T.V. *Perspektivy razvitija tehnologijpere rabotiv to richnyh resursov v Kuzbasse. Jekologicheskije, jekonomicheskie i social'nyea spekty* (Proc. «Prospects forthe development ofrecycling technologiesof recycled resourcesin the Kuznetsk Basin. Environmental, economicand social aspects»), Novokuzneck, 2012, pp. 189–197.

16. Usmanova T.V. *Materialy 3 Mezhdunarodnoj konferencii «Radioaktivnost' i radioaktivnye jelementy v srede obitanija cheloveka»* (Proc. ofthe Third Int. Conf. «Radioactivity and radioactiveelements in thehuman environment»), Tomsk, 2009, pp. 619–622.

17. Usmanova, T.V. *Vestniknauki Sibiri-Siberian Journal of Science*, 2012, Vol. 3(2). availableat: www.sjs.tpu.ru/journal/article/view/310.

18. Shakuro S.V. *Primenenie jelektrozavedochnyh metodov priizuchenii benzinovyh (kerosinovyh) linznaob ek-tahhramenija i pererabotki nefte produktov* (Application of electro prospecting methods in the studyof petrol(kerosene) lenses on thestorage andprocessing ofoil products), availableat: http://geology.front.ru/gas/2004_2/index.htm (accessed 20 October 2009).

19. Jurovskij A.Z. *Mineral'nye komponenty tverdyh gorjuchih iskopaemyh* [Mineral componentssolid fossil fuel], Moscow, Nedra, 1968, 214 p.

Рецензенты:

Короткова Е.И., д.х.н., профессор кафедры физической и аналитической химии, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск;

Арбузов С.И., д.г.-м.н., профессор, кафедры геоэкологии и геохимии, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.

Работа поступила в редакцию 01.07.2013.